

HOCHSCHULE OSNABRÜCK

University of Applied Sciences
Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik

Studiengang Automatisierungssysteme

Entwicklung eines Gumstix-Expansion-Boards für ein UAV-basiertes Rehkitzrettungssystem

Masterarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Master of Science

vorgelegt von
Philipp Neugebauer

Erstprüfer:
Prof. Dr. rer. nat. Arno Ruckelshausen (Hochschule Osnabrück)

Zweitprüfer:
Dipl.-Ing. Martin Israel (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)

Bearbeitungszeitraum:
01. März 2011 bis 23. September 2011

Kurzbeschreibung

Während der Frühjahrsmahd werden alleine in Deutschland geschätzte 100 000 Rehkitze durch Landmaschinen getötet. Grund dafür ist der fehlende Fluchtinstinkt der im hohen Gras liegenden Tiere. Um diese vor der Mahd aufzufinden, wird ein Lösungsansatz, der auf einem UAV-System (engl. unmanned aerial vehicle - unbemanntes Luftfahrzeug) basiert, verfolgt, mit dem aus der Luft eine Detektion der Rehkitze stattfindet. Die Hauptsensorik, der an Bord mitfliegenden Messhardware, wird aus einer Thermal- und einer RGB-Kamera sowie einem Laserdistanzsensor gebildet. Damit die Komponenten an ein Computer-On-Modul angebunden werden können, wird ein Expansion-Board benötigt. Dieses stellt die nötigen Schnittstellen, Zusatzfunktionen und die Spannungsversorgung des Messsystems zur Verfügung. Die vorliegende Abschlussarbeit beschreibt den Entwicklungsprozess eines Expansion-Boards, welches explizit auf das „Wildretter“-Messsystem zugeschnitten ist. Im Verlauf der Arbeit werden die gestellten Anforderungen in einen Schaltplan sowie in ein Leiterplattenlayout umgesetzt. Der aus diesen Daten gefertigte Hardwareprototyp wurde einer ausführlichen Validierung unterzogen. Die dabei aufgetretenen Probleme konnten in einem zweiten Entwicklungszyklus beseitigt werden, so dass mit der Beendigung der vorliegenden Arbeit eine funktionsfähige Schaltplanversion eines Expansion-Boards vorliegt.

Abstract

During pasture mowing, about 100,000 roe deer fawns are killed in Germany by mowing machines. This is due to the fact that the roe deer fawns remain motionless on the ground in case of forthcoming danger. To locate the animals before the pasture mowing, an approach based on an unmanned aerial vehicle (UAV) system is chosen. The main sensors of the measurement hardware on board consists of a thermal infrared camera and a visible camera as well as a laser distance sensor. To link these components with a computer-on-module, an expansion board is needed. This provides the necessary interfaces, additional functions and the power supply of the measurement system. This thesis describes the development process of the expansion board, which is specifically designed for the „Wildretter“ measurement system. In the course of this work the requirements are converted into a circuit diagram and a printed circuit board layout. The hardware prototype has then been validated in detail. Issues that occurred within this validation could be eliminated within a second development process. With the completion of this thesis, a functional version of the expansion board circuit diagram is available.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Motivation	1
1.2 Bisherige Lösungsansätze	2
1.2.1 Vertreiben im Vorfeld	2
1.2.2 Erkennen und in Gewahrsam nehmen	3
1.3 Aufgabenstellung und Gliederung der Arbeit	6
2 Ausgangssituation	7
2.1 Systemanalyse der Oktokopter-Plattform	7
2.1.1 Nutzlast / Abmessungen	8
2.1.2 Schnittstellen zum Falcon 8	8
2.1.3 Spannungsversorgung	9
2.2 Komponentenbeschreibung	11
2.2.1 Computer-On-Modul	12
2.2.2 Thermal-Kamera	14
2.2.3 RGB-Kamera	15
2.2.4 Laserdistanzsensor	16
2.3 Das alte Messsystem	17
3 Anforderungsanalyse an das neue Expansion-Board	19
3.1 Gewicht	19
3.2 Größe und geometrische Anordnung	19
3.3 Spannungsversorgung	20
3.4 Funktionsumfang	21
4 Hardwareaufbau	25
4.1 Module	25
4.1.1 Spannungsversorgung	25

4.1.2	Konsolenport	27
4.1.3	USB Host	29
4.1.4	I ² C Komponenten	30
4.1.5	Digitale Videoschnittstelle (RGB-/IR Kamera)	37
4.1.6	Weitere Komponenten	40
4.2	Layout	42
4.3	Aufbau	44
5	Inbetriebnahme und Systemtest	46
5.1	Messinstrumente	46
5.2	Module	49
5.2.1	Spannungsversorgung	49
5.2.2	Konsolenport	50
5.2.3	USB Host	51
5.2.4	I ² C Komponenten	51
5.2.5	Digitale Videoschnittstelle (RGB-/IR Kamera)	56
5.2.6	LEDs / Taster	61
6	Zusammenfassung und Ausblick	63
	Literaturverzeichnis	66
A	Nutzlasthalter-Elektronik	71
B	Anschlusspläne/Pinbelegungen des Expansion-Boards	72
B.1	Gumstix Board-to-Board Connector	72
B.2	50-pin Hirose Connector (Thermal-Kamera)	74
B.3	27-pin Flex-Cable Connector (RGB und EB-Gumstix)	75
C	GPIO-Pins und deren Funktionalität	76
D	Software	77
D.1	Einleitende Informationen	77
D.2	Multiplexen der OMAP35xx GPIO-Pins	77
D.3	User-GPIO-Driver	80
D.4	Konfiguration des I ² C-UART Bausteins SC16IS740	80
E	RGB Testbild	82

Abbildungsverzeichnis

1.1	Geometrische Randbedingungen bei der Kitzsuche	4
2.1	Oktokopter Falcon 8 Bodenstation	7
2.2	Geometrie und Aufbau des Nutzlasthalters	9
2.3	Oszilloskop Bilder 6 V und 9.6 V am Nutzlasthalter	10
2.4	Oszilloskop Bild 5 V Peripherie Spannung	11
2.5	Computer-On-Module Gumstix Overo COM	12
2.6	Kamera Subsystem des OMAP35xx	13
2.7	Thermal-Kamera Flir TAU640	15
2.8	RGB Kamera e-CAM32_OMAP_GSTIX	16
2.9	Laserdistanzsensor MLR100	17
2.10	Systemaufbau des vorherigen Messsystems	18
3.1	Entwurf des mechanischen Aufbaus	20
3.2	Blockschaltbild des Expansion-Boards	24
4.1	Schaltplan Spannungsversorgung 3.3 V	26
4.2	Schaltplan Spannungsversorgung 1.8 V	27
4.3	Schaltplan Konsolenport	28
4.4	USB Transceiver USB3326	30
4.5	Schaltplan USB Host	31
4.6	Schaltplan Level-Shifter für I ² C und UART	32
4.7	Schaltplan EEPROM	33
4.8	Schaltplan Kommunikation mit dem LDS	34
4.9	Signallaufbau des seriellen Interfaces der TAU 640	35
4.10	Schaltplan Kommunikation mit der IR-Kamera	36
4.11	Blockschaltbild Video Multiplexer	37
4.12	Schaltplan Digitale Video-Schnittstelle 1	38
4.13	Schaltplan Digitale Video-Schnittstelle 2	39
4.14	Schaltplan LED / Taster	40

4.15	Schaltplan Backup-Batterie	41
4.16	Steckerbelegung USB OTG	41
4.17	Steckerbelegung Anschlussstecker	42
4.18	Layout des Expansion-Boards	43
4.19	Platinenansicht Rückseite	44
4.20	Platinenansicht Vorderseite	45
4.21	Gesamtaufbau des Messsystems	45
5.1	Oszilloskop Bilder Tastkopf-Modifikationen	47
5.2	Tastkopf-Modifikation	47
5.3	I ² C-Nachrichtenaufbau	48
5.4	USB-I ² C Interface + Level-Shifter/Repeater	52
5.5	Schaltplan I ² C Level-Shifter/Repeater (NEU)	52
5.6	Oszilloskop Bild UART und RS232 Leitung (LDS)	54
5.7	Oszilloskop Bild UART Tx-Leitung (Thermal-Kamera)	55
5.8	Kommunikationssequenz der Thermal-Kamera	56
5.9	Oszilloskop Bild Pixel-Clock Leitung der IR-Kamera (Fehlerfall)	56
5.10	Schaltplan Multiplexen der Videoschnittstelle (NEU)	58
5.11	Oszilloskop Bilder Signalverläufe auf der Taktleitung (IR-Kamera)	59
5.12	Oszilloskop Bilder Signalverläufe auf einer Datenleitung (IR-Kamera)	60
5.13	Oszilloskop Bilder Signalverläufe auf der Taktleitung (RGB-Kamera)	61
5.14	Oszilloskop Bilder Signalverläufe auf einer Datenleitung (RGB-Kamera)	61
A.1	Steckeranordnung der Nutzlasthalter-Elektronik	71
B.1	Anschlussbelegung Gumstix Board-To-Board Connector <i>J1</i>	72
B.2	Anschlussbelegung Gumstix Board-To-Board Connector <i>J2</i>	73
B.3	Anschlussbelegung Thermal-Kamera	74
B.4	Anschlussbelegung Flex Cable Connector	75
D.1	Register Schreibzyklus (SC16IS740)	81
E.1	RGB Testbild	82

Abkürzungsverzeichnis

A/D	Analog/Digital
AC	Alternating Current
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CAD	Computer Aided Design
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
COM	Computer-On-Module
DC	Direct Current
DDR	Double Data Rate
DSP	Digital Signal Processor
EAV	End of Active Video
EB	Expansion-Board
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
ESD	Electrostatic Discharge
ESR	Equivalent Series Resistance
FB	Feedback
FFC	Flat Flex Cable
FIFO	First In First Out
GPIO	General Purpose Input Output
GPS	Global Positioning System
I ² C	Inter-Integrated Circuit
IC	Integrated Circuit
IR	Infrared
ISP	Image Signal Processor
LDS	Laser Distance Sensor
LED	Light-Emitting Diode
LVDS	Low Voltage Differential Signaling
MMC	Multimedia Card
NAND	Not AND
NC	Normally Closed

NO	Normally Open
NTSC	National Television Systems Committee
OE	Open Embedded
OTG	On-The-Go
PAL	Phase Alternation Line
PC	Personal Computer
PCB	Printed Circuit Board
PFM	Pulsed Force Mode
PWM	Pulse-Width Modulation
QXGA	Quad eXtended Graphics Array
RAM	Random Access Memory
RGB	Red, green and blue
SAV	Start of Active Video
SCL	Serial Clock
SDA	Serial Data
SMD	Surface Mounted Device
SPI	Serial Peripheral Interface
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
ULPI	UTMI + Low Pin Interface
URL	Uniform Resource Locator
USB	Universal Serial Bus
UTMI	USB 2.0 Transceiver Macrocell Interface
V4L2	Video 4 Linux 2
W-LAN	Wireless Local Area Network
Wi2Wi	Wireless 2 Wireless

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Motivation

Während der Frühjahrsmahd Ende Mai und Anfang Juni fahren die Landwirte mit ihren Mähmaschinen auf die Wiesen, um Grassilage und Heu für ihre Tiere einzufahren. In der Regel überschneidet sich diese Jahreszeit mit der Geburt der Rehkitze. Zum Schutz vor natürlichen Feinden legen die Rehe ihre Kitze an Orten ab, die ausreichend Schutz bieten. Eine Wiese mit hohem Bewuchs bietet diesen Schutz. Ergänzend dazu besitzen die Kitze in ihren ersten Lebenstagen noch ein ausgeprägtes Drückverhalten, das ihnen zusätzlich Schutz vor natürlichen Feinden liefert. Genau dieses Verhalten wird ihnen in der heutigen Landwirtschaft zum Verhängnis. Spüren sie eine Gefahr, die sich nähert, fliehen sie nicht, sondern verharren stattdessen reglos am Boden. Pro Jahr werden in Deutschland somit geschätzte 100 000 Rehkitze von Landmaschinen erfasst und erleiden auf diesem Wege einen qualvollen Tod. Aber nicht nur Rehkitze sind davon betroffen. Auch andere Wildtiere, wie Bodenbrüter und Hasen, werden regelmäßig vermäht. [17][40] Diese erschreckend hohen Zahlen bieten genug Motivation Rehkitze und andere Wildtiere vor dem Mähtod zu bewahren. Konkret gibt es drei Anreize die Situation zu verbessern: Genauer betrachtet besteht der Anreiz, die Situation zu verbessern, aus dreierlei Hinsicht:

- **Juristische Belange**

Aufgrund des Tierschutzgesetzes¹ ist es eine Zuwiderhandlung Wirbeltiere ohne vernünftigen Grund zu töten. In den allermeisten Fällen ist die Tötung eines Tieres ungewollt oder unvermeidlich, wie es z. B. bei Unfällen mit Rehwild im Straßenverkehr der Fall ist. Lediglich bei mutwilligem Vorsatz liegt eine Straftat vor. Somit sind Landwirte oftmals verpflichtet vor der Mahd ausreichende Maßnahmen zu treffen, um das Vermähen von Wildtieren zu vermeiden. Dabei können Regelungen und Bestimmungen der jeweils zuständigen Jagdgenossenschaft eine Rolle spielen. Somit kommt es vereinzelt zu juristischen Urteilen durch Fehlverhalten der Landwirte und der zuständigen Jagdpächter [42][31].

¹Tierschutzgesetz § 17 Nr. 1 [7]

- **Tierschutz**

Aus Tierschutzgründen ist es nicht vertretbar die Problematik der Mahdverluste zu verschweigen und somit unberücksichtigt zu lassen. Der Bestand der Rehe in Deutschland ist zwar keinesfalls gefährdet, dennoch möchte man aus ethischen Gesichtspunkten und zur Liebe der Tiere einen bestmöglichen Schutz.

- **Wirtschaftliche Verluste**

Der dritte Aspekt für die Rehkitzrettung sind die wirtschaftlichen Schäden, die durch ein vermähtes Tier entstehen können. In diesen Tieren findet sich häufig der Erreger *Clostridium botulinum* wieder, der für sich betrachtet harmlos ist. Problematisch wird es, wenn Kadaverteile des vermähten Tieres in die Silage gelangen. Durch die eiweißreiche Umgebung, die Temperaturen über 25 °C und den Luftabschluss des Silageprozesses sind ideale Bedingungen für das Aufkeimen der Sporen gegeben. Es entsteht ein sehr starkes Nervengift (Toxin), das sich im Tierfutter verbreitet. Nehmen Kühe das kontaminierte Futter auf, so werden sie durch Botulinumtoxin vergiftet. Eine solche Vergiftung ist nicht direkt behandelbar und endet für die Kühe in den meisten Fällen tödlich. Die wirtschaftlichen Schäden, die ein Milchviehbetrieb durch einen solchen Vorfall davon tragen kann, sind in der Regel beträchtlich [29][19].

1.2 Bisherige Lösungsansätze

Aufgrund dessen, dass das im vorigen Abschnitt geschilderte Problem schon seit Jahrzehnten besteht, kursieren viele verschiedene Lösungsansätze. Dabei lassen sich die Ansätze in zwei grundsätzliche Vorgehensweisen einordnen. Zum einen gibt es Lösungsversuche, die auf *Vertreibung* im Vorfeld basieren. Die zweite Möglichkeit stützt sich auf die Rehkitz *Erkennung* und das anschließende in Gewahrsam nehmen. Im Folgenden wird kurz auf die zwei Ansätze eingegangen.

1.2.1 Vertreiben im Vorfeld

Über verschiedenste “Reh-Scheuchen“ wird versucht schon Tage vor der eigentlichen Mahd die Geiss mit ihrem Kitz aus den zu mähenden Wiesen zu vertreiben oder zu verhindern, dass sich überhaupt Kitze hineinlegen. Dabei kommen einzeln oder in Kombination Geruchs-, Licht- und Schallscheuchen zum Einsatz, die sporadisch Wirkung zeigen, aber keine verlässliche Garantie bieten [40][6].

1.2.2 Erkennen und in Gewahrsam nehmen

Als effektiver hat sich das Auffinden und Erkennen von Kitzen kurz vor der Mahd erwiesen. Sie können somit rechtzeitig aus der Wiese entfernt werden, so dass der Landwirt gefahrenlos sein Grünland mähen kann. Folgende Lösungsansätze wurden bisher verfolgt:

- **Mechanische Wildretter am Mähfahrzeug**

Bereits in die Jahre gekommen sind mechanische Vorrichtungen in Form von Zinken, die an der Vorderseite des Mähwerks angebracht sind. Diese sollen verhindern, dass Wildtiere in das Mähwerk geraten und statt dessen angehoben und somit gerettet werden können. Dieser Lösungsansatz war nicht zielführend und ist in der heutigen Landtechnik nicht mehr anzufinden.

Eine zur Zeit praktizierte mechanische Vorrichtung ist ein horizontaler Auslegerarm, an dem vertikal durchs Gras streifende Schläuche oder Ketten befestigt sind. Mit dieser Installation lässt sich die nächste Fahrspur “durchkämmen” und die Kitze durch Berührung aufscheuchen.

- **Abgehen (mit Hunden)**

Eine weitere Möglichkeit ist das Abgehen einer Wiese. Dabei kann ein Hund mit seinem guten Geruchssinn eine deutliche Hilfe sein. Nebenbei wird der Hund und sein Geruch von den Rehkitzen als potentielle Gefahr wahrgenommen und dient somit als zusätzliche Scheuche. Das Abgehen bringt allerdings auch einige Nachteile mit sich. Es ist sehr zeitintensiv bzw. fordert es eine Vielzahl von Suchern, um eine Wiese in akzeptabler Zeit abzusuchen. Des Weiteren erschweren die vorliegenden geometrischen Gegebenheiten, wie sie in der Abbildung 1.1 gezeigt sind, die Suche zusätzlich. Bei einer durchschnittlichen Bewuchshöhe von 1 m, einem Kitzlager Durchmesser von 0.3 m und einer angenommenen Augenhöhe des Suchers von 1.7 m ist schnell klar, dass sich ein Sucher in unmittelbarer Nähe zum Kitz befinden muss, um es überhaupt zu entdecken. Fällt das Gras noch über dem Kitz zusammen, so ist ein Lager schon oft aus 1 m Entfernung nicht mehr auszumachen.

- **Auslegerarm / Sensorik an der Mähmaschine**

Aktuellere Entwicklungen und Forschungen beschäftigen sich mit entsprechender Sensorik direkt an der Landmaschine. So gibt es erste Prototypen in Form eines Auslegerarms, der auf dem Mähwerk angebracht ist und die jeweils nächste Mähspur nach Kitzen absucht. Dabei wurden Infrarot-, Mikrowellen- und Abstandssensoren sowie RGB- und Thermalkameras zusammengefügt, um eine Sensorfusion zu erhalten. Es zeigte sich, dass für Kamerasysteme äußerst ungünstige Bedingun-



Abbildung 1.1: Geometrische Randbedingungen bei der Kitzsuche. Um das Rehkitz zu sehen, muss die Person unmittelbar daneben stehen. Ein Lokalisieren eines Lagers ist schon aus 1 bis 2 m schwierig bis unmöglich.

gen vorliegen. Zum einen ist das Verhältnis hohe Fahrgeschwindigkeit zu geringer Montagehöhe und zum anderen sind die unvermeidbaren Vibrationen Grund genug die Detektion von Rehkitzen während der Fahrt mit Kameras zu verwerfen. Die Detektion mit Infrarot-, Mikrowellen- und Abstandssensoren war bisweilen recht vielversprechend und wird somit aktuell weiter verfolgt [40][41].

Eine weitere Möglichkeit ist die Montage der Sensorik direkt auf der Mähmaschine. Die “Blickrichtung“ ist dabei nach vorne ausgerichtet, so dass in der aktuellen Mähspur gesucht wird. Auch bei diesem Ansatz hat man mit den schwierigen geometrischen Bedingungen zu kämpfen, wie sie im Abschnitt *Abgehen mit dem Hund* erläutert wurden. Dabei ist es nicht möglich mit Kamerasystemen sowie einfacher Infrarotsensorik durch das Gras hindurch zu schauen, um die Kitze am Boden liegend zu detektieren.

- **Tragbarer Wildretter**

Ein auf Infrarotsensoren gestütztes System, welches sich bereits seit zehn Jahren auf dem Markt befindet, ist der tragbare Wildretter². Dabei handelt es sich um ein Teleskopgestänge, mit dem sich dank 10 Infrarotsensoren eine Arbeitsbreite von 6 m abdecken lassen. Mit diesem System lassen sich die Wiesen schneller zu Fuß absuchen als mit dem bloßen Auge. Bei bedecktem Himmel oder in den frühen Morgen- oder späten Abendstunden funktioniert das System sehr zuverlässig. Bei starker

²Vertrieb durch: isa Industrieelektronik GmbH | www.isaweiden.de | www.wildretter.de

Sonneneinstrahlung kommen die Sensoren allerdings an ihre Grenzen und können Kitze oftmals nicht mehr von anderen Objekten (z. B. Erd-/Maulwurfshügel) unterscheiden. [15]

Ausschlaggebende Kriterien, warum einige der letztgenannten Herangehensweisen nicht oder nur bedingt funktionieren, sind die vorliegenden geometrischen und physikalischen Gegebenheiten, wie sie in den letzten vier Abschnitten angedeutet wurden. Mit diesem Wissen und den Erfahrungen vom tragbaren Wildretter konnten neue Systemanforderungen definiert werden. Als Lösungsplattform herauskristallisiert hat sich ein UAV³-System. Die Vorteile eines solchen Systems gegenüber den letztgenannten liegen klar auf der Hand: Es besteht die Möglichkeit die “Blickrichtung“ der Sensorik im Bereich von 90° zur Erdoberfläche auszulegen und durch Stillstand in der Luft gute Bedingungen für Bildaufnahmen zu schaffen. Ebenfalls können Vibrationen und Schmutz, die bei Landmaschinen immer eine große Rolle spielen, auf ein Minimum reduziert werden.

Die in dieser Abschlussarbeit entwickelte Hardware ist ein Teil eines solchen UAV-Systems, welches zur Rehkitzrettung bei der Frühjahrsmahd zum Einsatz kommen soll. Der Fliegende-Wildretter ist Teil eines Verbundprojektes. Dessen Partner⁴ haben sich als Aufgabe gestellt ein geeignetes Trägersystem mit Sensorik zu entwickeln, um Wildtiere beim Mähen landwirtschaftlicher Flächen zu finden. Gefördert wird das Verbundprojekt vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)⁵ - Rahmenprogramm Mikrosysteme. Der Projektbeitrag des Fliegenden-Wildretters wird fast ausschließlich vom Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) im Institut für Methodik der Fernerkundung bearbeitet.

Bis zu Beginn dieser Abschlussarbeit lag bereits ein Messsystemaufbau vor, der montiert auf einem Flugsystem erste Erfahrungen und Ergebnisse bzgl. der Rehkitzsuche aus der Luft erbrachte. Die zur Verwendung kommende, extern entwickelte und als Fertigsystem gekaufte UAV-Plattform ist im folgenden Kapitel 2.1 beschrieben. Das Messsystem, welches auf der UAV-Plattform mit fliegt, ist eine Eigenentwicklung und besteht aus folgenden Hauptbestandteilen: Das Herz des Systems ist ein kleines Computer-On-Modul (COM), welches die Steuerung und Datenverarbeitung übernimmt. Die Hauptsensorik des Systems wird aus einer Thermal- und RGB-Kamera gebildet, deren Bilder mit dem

³Abk.: **U**nmanned **A**erial **V**ehicle - engl.: Unbemanntes Luftfahrzeug

⁴CLAAS KGaA mbH; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR); isa industrieelektronik GmbH; Technische Universität München; Landesjagdverband Bayern e.V.; Universität Hohenheim

⁵Förderkennzeichen: 16SV3669; Projektträger: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

COM aufgenommen und verarbeitet werden können. Die gesamte Interaktion zwischen den beteiligten Einzelkomponenten wird dabei von einem Expansion-Board (EB) übernommen. Das COM und das EB sind vom selben Hersteller, was einer schnellen Implementierung zu Gute kommt, aber wenig Spielraum für Sonderfunktionen bereithält. Auf die Einzelkomponenten, den Aufbau sowie das Zusammenspiel des gesamten Messsystems wird im Kapitel 2 *Ausgangssituation* genauer eingegangen.

1.3 Aufgabenstellung und Gliederung der Arbeit

Die gesammelten Erfahrungen haben gezeigt, dass die kaufbaren Expansion-Boards zwar einen schnellen Aufbau ermöglichen, aber sich viele wünschenswerte Funktionen und Schnittstellen damit nicht oder nur sehr schwierig realisieren lassen. Zudem bieten die kaufbaren Derivate zumeist eine Vielzahl von Schnittstellen und Funktionen, die im Wildretter-Messsystem nicht benötigt werden. Diese sind aber trotz alledem vorhanden und nehmen somit Platz und vor allem Gewicht in Anspruch. Das sind beides Faktoren, die bei einem fliegenden und batteriebetriebenen System von hoher Bedeutung sind. Um alle Wünsche und Erwartungen an ein EB realisieren zu können, muss eine Eigenentwicklung erarbeitet und gefertigt werden, die auf das Anwendungsfeld Fliegender-Wildretter zugeschnitten ist.

Die Aufgabe dieser Abschlussarbeit ist der Entwurf, die Dimensionierung, das Layout und die Inbetriebnahme eines EBs, welches explizit auf die vorhandenen Bedürfnisse fokussiert ist. Die Funktionen und Schnittstellen, die benötigt werden, entstanden dabei aus vergangenen Erfahrungen und wurden in Zusammenarbeit mit Dipl.-Ing. Martin Israel definiert (Abschnitt 3.4). Es sollen überschlägige Abschätzungen bzgl. des resultierenden Gesamtgewichts und der Größe des Messsystems vorgenommen werden, so dass Grenzwerte der UAV-Plattform nicht überschritten werden. Ebenso gehört die Auslegung der Spannungsversorgung sowie die Spezifizierung der Schnittstellen zwischen der Trägerplattform und dem Messsystem zu den Aufgaben der Arbeit. Nach der Dimensionierung und Auslegung der Schaltung soll ein Platinen-Layout erstellt werden. Die Fertigung und Bestückung der Leiterplatte wird von einem Dienstleister übernommen. Neben der Restbestückung des EBs soll anschließend eine umfangreiche Inbetriebnahme und Funktionskontrolle erfolgen.

2 Ausgangssituation

2.1 Systemanalyse der Oktokopter-Plattform

Die für den Fliegenden-Wildretter eingesetzte UAV Trägerplattform ist ein Oktokopter System vom Hersteller Ascending Technologies GmbH¹. Der sogenannte Falcon 8 ist insbesondere für die professionelle Luftbildfotografie sowie Inspektion und Dokumentation aus der Luft konzipiert. Im Folgenden wird auf die Eigenschaften und Vorteile eingegangen, die das genannte System für das Projekt mit sich bringt.

Aufgrund der acht Rotoren ist eine gewisse Redundanz gewährleistet, da bei Ausfall eines Antriebsstrangs (Rotorblatt/Motor Kombination) weiterhin ein sicherer und stabiler Flug gewährleistet ist. Ebenfalls ist mit den acht Antrieben eine hohe Flugstabilität, selbst bei Windstärken von bis zu 10 m/s , gegeben. Ebenfalls von Vorteil ist die einfache Bedienbarkeit und Steuerung des Kopters. Durch eine Vielzahl von elektronischen Sensoren wie GPS, barometrischem Höhensensor, Kompass und Beschleunigungssensoren ist das Steuern des Systems auch für ungeübte Personen möglich.

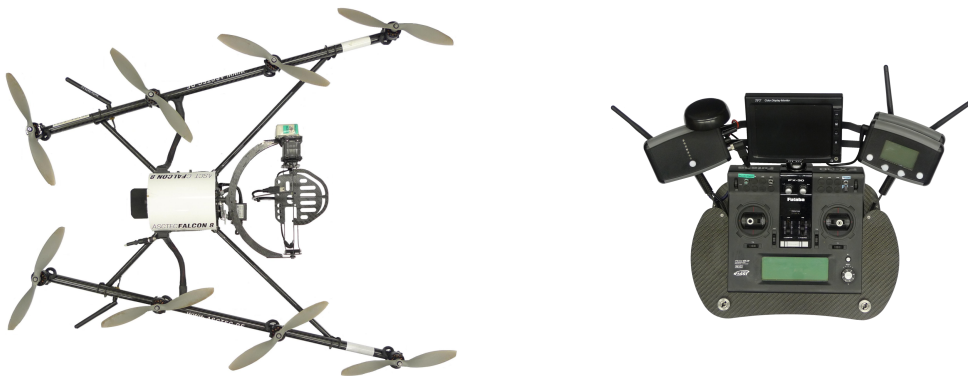


Abbildung 2.1: Oktokopter Falcon 8 von Ascending Technologies GmbH (links); Bodenstation mit Funkfernsteuerung, Video TFT und Monitoringseinheit (rechts)

Die mobile Bodenstation bildet die Schnittstelle zwischen Pilot und Oktokopter. Die

¹<http://www.asctec.de>

digitale Funkübertragung ist auf zwei komplett getrennte Kanäle im 2.4 GHz Band aufgeteilt, um wiederum eine Redundanz und somit höhere Sicherheit zu erreichen. Neben der eigentlichen Fernbedienung informiert ein Monitoring System über Telemetriedaten und Systeminformationen. Ein sehr wichtiger Aspekt bei der Auswahl eines Flugsystems war das Vorhandensein eines Video-Down-Links. Über die Bodenstation kann zwischen zwei analogen Video Kanälen auf dem Falcon 8 hin- und hergeschaltet werden, dessen Videobild in Echtzeit auf einem 5,6 Zoll Monitor am Boden angezeigt wird. Eine Autopilotensoftware von AscTec ermöglicht das autonome Abfliegen komplexer Flugmissionen. In Kombination mit der beim DLR entwickelten Wegpunktplanungssoftware ist eine gute Grundlage vorhanden, um Grünflächen effizient abzufliegen. Im Folgenden wird auf Punkte eingegangen, die für das Zusammenspiel zwischen der Oktokopter-Plattform und dem eigentlichen Messsystem eine wichtige Rolle spielen.

2.1.1 Nutzlast / Abmessungen

Bei einem flugfähigen System ist die Abmessung und vor allem das Gewicht der Zuladung ein limitierender Faktor. Die Abmessungen der Last werden durch die geometrischen Gegebenheiten des Nutzlasthalters beschränkt. Die Abbildung 2.2 zeigt den Nutzlasthalter aus der Drauf-, Front- und Seitenansicht und verdeutlicht durch die Maßangaben das Platzangebot.

Der Hersteller gibt eine max. Zuladung inkl. Nutzlasthalter von 500 g an. Da der Halter mit 180 g Eigengewicht zu Buche schlägt, bleiben 320 g für das gesamte Messsystem übrig, so dass das Gesamtgewicht des UAVs von 1.8 kg nicht überschritten wird.

2.1.2 Schnittstellen zum Falcon 8

Seitlich am Nutzlasthalter befindet sich das Breakout-Board, das die Anschlüsse des Roll- und Nickservos sowie Schnittstellen für Nutzlasten bereitstellt. Zum einen sind die bereits erwähnten analogen Videoeingänge vorhanden, um das Signal von zwei Videogeräten nach unten zur Bodenstation zu übertragen. Das angesprochene Umschalten zwischen den zwei Kanälen erfolgt an der Bodenstation und wird durch die Nutzlasthalter-Elektronik vorgenommen. Für binäre Kommunikation mit dem Falcon 8 stehen drei GPIO Ports mit einem Logikpegel von 3.3 V zur Verfügung. Je nach Programmierung der Falcon Software lassen sich diese über die Fernbedienung steuern. Im Auslieferungszustand kann über diese IOs z. B. die Bildaufnahme ausgelöst oder die Zoom-Funktion der verbauten Digitalkamera bedient werden. Für einen komplexeren Informationsaustausch

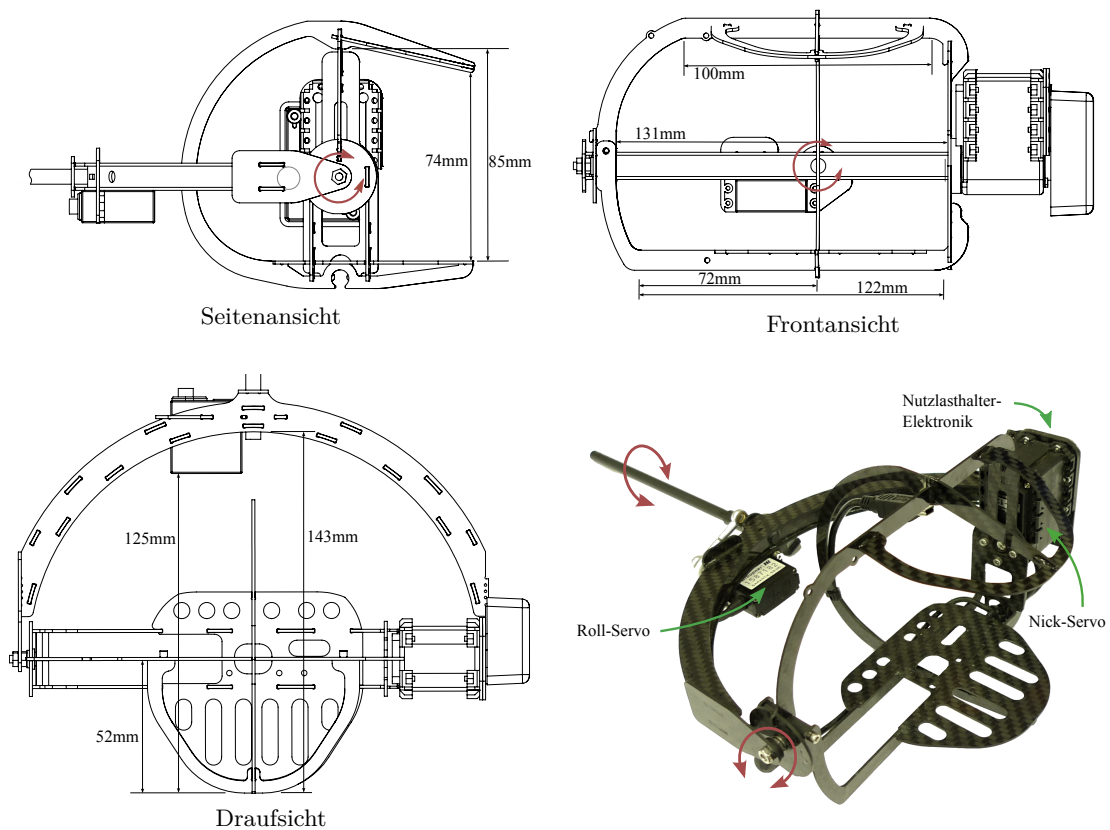


Abbildung 2.2: Geometrie und Aufbau des Nutzlasthalters (Die drei CAD-Graphiken wurden freundlicherweise von Ascending Technologies GmbH bereitgestellt. Eingezeichnete Abmessungen wurden nachträglich vorgenommen.)

zwischen Falcon und Nutzlast steht zusätzlich eine UART²-Schnittstelle bereit. Über diese lassen sich, entsprechende Softwareanpassung vorausgesetzt, Daten von der Falcon Sensorik (GPS; Hözensensor etc.) abfragen. Diese Schnittstelle arbeitet ebenfalls mit einem 3.3 V Spannungssystem. Aufbau und Anschlussmöglichkeiten der Nutzlasthalter-Elektronik sind im Anhang A nachzuschlagen.

2.1.3 Spannungsversorgung

Um die Spannungsversorgung des Messsystems sicher zu stellen, wurden die zur Verfügung stehenden drei Spannungsebenen am Nutzlasthalter untersucht. Zum einen steht eine 5 V Spannung bereit, die für die Elektronik des Nutzlasthalters verwendet wird, aber darüber hinaus auch für Peripherie zur Verfügung steht. Ebenfalls vorhanden ist

²Universal Asynchronous Receiver Transmitter; Serielle 3-draht Schnittstelle

eine 6 V (Roll-Servo) und eine 9.6 V (Nick-Servo) Spannung. Diese beiden versorgen die zwei Servos und könnten natürlich ebenfalls anderweitig genutzt werden. Um eine Abschätzung vornehmen zu können, ob eine der drei Spannungen auch ausreichend Strom für den Messaufbau bereit stellen könnte, wurde beim Hersteller Ascending Technologies GmbH nachgefragt: Die maximal zusätzliche Belastung der drei Quellen liegt bei ~500 mA (5 V), ~1000 mA (6 V) und ~100 mA (9.6 V). Die Abschätzung aus dem Kapitel 3.4 zeigte, dass eine Quelle alleine nicht ausreichen würde. Eine Kombination aus mehreren wäre denkbar, so dass die drei Spannungssysteme näher untersucht wurden.

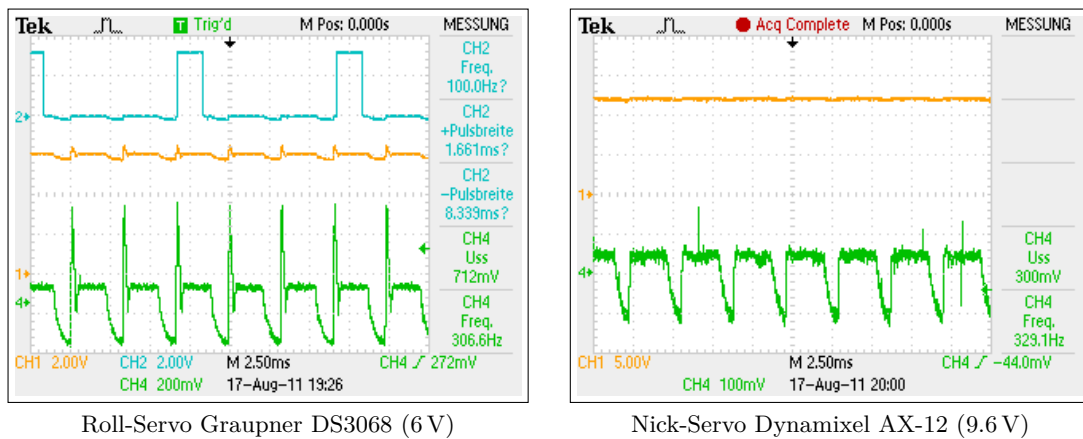


Abbildung 2.3: Versorgungsspannung des Roll- und Nickservos direkt gemessen auf der Nutzlasthalter-Leiterkarte. Orange: DC Spannungsverlauf (Versorgungsspannung) des Servos. Grün: Überlagerter AC-Anteil (Störungen/Rauschen). Blau: PWM Servosignal

Die Abbildung 2.3 zeigt die zwei Spannungen, die lediglich für die Versorgung der Servos genutzt werden. Deutlich zu sehen sind die Störungen in der Versorgungsspannung (Gelb). Der grüne Verlauf, lediglich der AC-Anteil der Spannung, zeigt nochmals in höherer Skalierung sehr deutlich, dass eine Störung mit einer Frequenz von etwa 300 Hz und einer beachtlichen Spitze-Spitze Spannung von über 700 mV der Gleichspannung überlagert ist. Das in blau gezeigte PWM Servosignal zeigt deutlich, dass dieses nicht Schuld an der Störung sein kann. Die Frequenz liegt bei den heute üblichen 100 Hz und kann somit nicht Verursacher sein. Die Vermutung liegt nahe, dass die Spannungseinbrüche durch Anlaufen des Servos hervorgerufen werden. Die Lageregelung des Nutzlasthalters sorgt dafür, dass dieser immer in Waage ausgerichtet bleibt. Durch die Regelung ist der Roll-Servo ständig am arbeiten, um seine Position zu halten. Die Vermutung liegt nahe, dass die Regelfrequenz den gemessenen 300 Hz entspricht, in dessen Takt der Servo immer kurzzeitig anläuft und somit die Störungen verursacht.

Beim Nick-Servo (Abbildung 2.3 rechts) ist die gleiche Problematik zu erkennen. Allerdings ist sie nicht ganz so stark ausgeprägt wie beim Roll-Servo. Um zu überprüfen, ob die Störungen vom Roll- auf den Nick-Servo überkoppeln, wurde der Roll-Servo während der Messungen zeitweise ausgesteckt. Die Störungen waren nicht mehr vorhanden. Die Erkenntnis deckt sich mit den persönlichen Wahrnehmungen, denn der Nick-Servo ist in der Ruhelage nicht am arbeiten und hinterlässt auch während des Betriebes nur wenige Störungen.

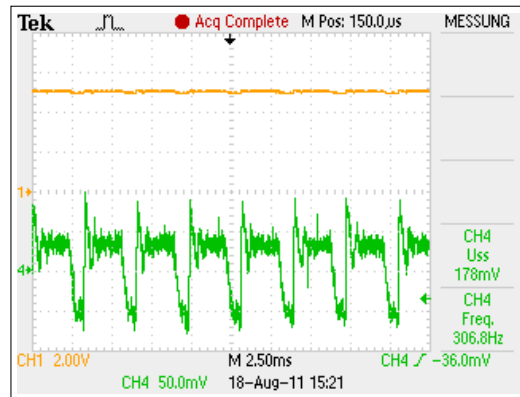


Abbildung 2.4: Peripherie Spannung (5 V) direkt gemessen auf der Nutzlasthalter-Leiterkarte. Orange: DC Spannungsverlauf. Grün: Überlagerter AC-Anteil (Störungen/Rauschen).

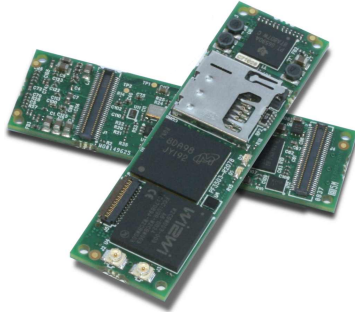
Die Abbildung 2.4 verdeutlicht die gleiche Problematik, die auch bei den 9.6 V vorliegt. Auch die 5 V DC-Spannung ist durch den Roll-Servo deutlich wahrnehmbar gestört. Die Schwankungen während des Anlaufens des Servos sind zwar in diesem Spannungssystem mit ca. 180 mV (U_{SS}) kleiner als bei den anderen beiden, aber nach wie vor vorhanden.

2.2 Komponentenbeschreibung

Nachdem die Oktokopter-Plattform im vorherigen Abschnitt erläutert wurde, wird an dieser Stelle auf die Einzelkomponenten des Messsystems eingegangen. Dabei werden die Komponenten ausführlich betrachtet, die einen direkten Bezug zum zu entwickelnden Expansion-Board aufweisen und mit diesem zusammen das eigentliche Messsystem darstellen. Dabei wird überwiegend auf Spezifikationen, Merkmale und Eigenschaften reduziert, die auch relevant für diese Arbeit sind.

2.2.1 Computer-On-Modul

Das Herzstück des Messsystems ist ein kleines Computer-On-Modul vom Hersteller Gumstix³. Zum Einsatz kommen kann ein Modul der Serie Overo COM, das folgende Spezifikation aufweist:



- **Prozessor** OMAP35xx mit Cortex-A8 [38]
- **CPU Geschwindigkeit** 600 MHz oder 720 MHz
- **Speicher** 512 MB oder 256 MB Low-Power DDR RAM; 256 MB NAND Flash
- **Auf dem Board** Micro SD Steckplatz
- **Abmessungen** 58 mm x 17 mm x 4.4 mm
- **Gewicht** 6 g

Abbildung 2.5: Gumstix Overo COM (Quelle: www.gumstix.com)

Darüber hinaus hat jedes verfügbare Derivat noch weitere Besonderheiten, wie z. B. W-Lan, Bluetooth oder, bei entsprechender Version des OMAP35xx Prozessors, einen integrierten DSP. Auf allen Gumstix Modulen ist neben dem Prozessor ein TP65950 [37] verbaut. Dabei handelt es sich um ein IC, welches explizit für die OMAP Prozessoren entwickelt wurde. Dieses IC unterstützt den OMAP in der Spannungsversorgung und stellt z. B. Audio Coder/Decoder, USB, LED-Treiber oder Analog zu Digitalwandler zur Verfügung. Zur Integration des COM stehen zwei 70-pin AVX 5602 Board-To-Board Connectors auf der Unterseite bereit. Neben der Spannungsversorgung des Moduls kann man auf eine Vielzahl von Kommunikationsleitungen⁴ über die zwei Steckverbindungen zugreifen. Ebenfalls auf dem Modul vorhanden ist ein 27-pin Flat-Flex-Cable (FFC) Anschluss ([14] J5), der sich auf der Oberseite des Moduls befindet und eine digitale Videoschnittstelle zum Anschluss von Kameras bereitstellt. Die Videoschnittstelle ist für die vorliegende Arbeit ein wichtiger Bestandteil und wird im Folgenden genauer betrachtet.

Kamera Subsystem

Das Kamera Subsystem inklusive dem Image Signal Processor (ISP) ist eine Hauptkomponente des OMAP35xx Prozessors für Bild- und Videoapplikationen. Die Abbildung 2.6 zeigt den Aufbau und die Anschlussmöglichkeiten der Komponente. Es werden ein

³www.gumstix.com

⁴GPIOs; PWM-Kanäle (6); A/D (6); I²C; 1-wire; UART; SPI; MMC-Lines; Headset; Mikrofon; Backup Batterie; High Speed USB Host und USB OTG

paralleles sowie zwei serielle Interfaces unterstützt. Auf die Seriellen soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden, da sie sowohl für die Thermal- als auch RGB-Kamera, die in diesem Projekt eingesetzt werden, uninteressant sind. Die parallele Schnittstelle zum Kamera Subsystem wird allerdings benötigt, weshalb die zwei verschiedenen Betriebsmodi im Folgenden kurz vorgestellt werden:

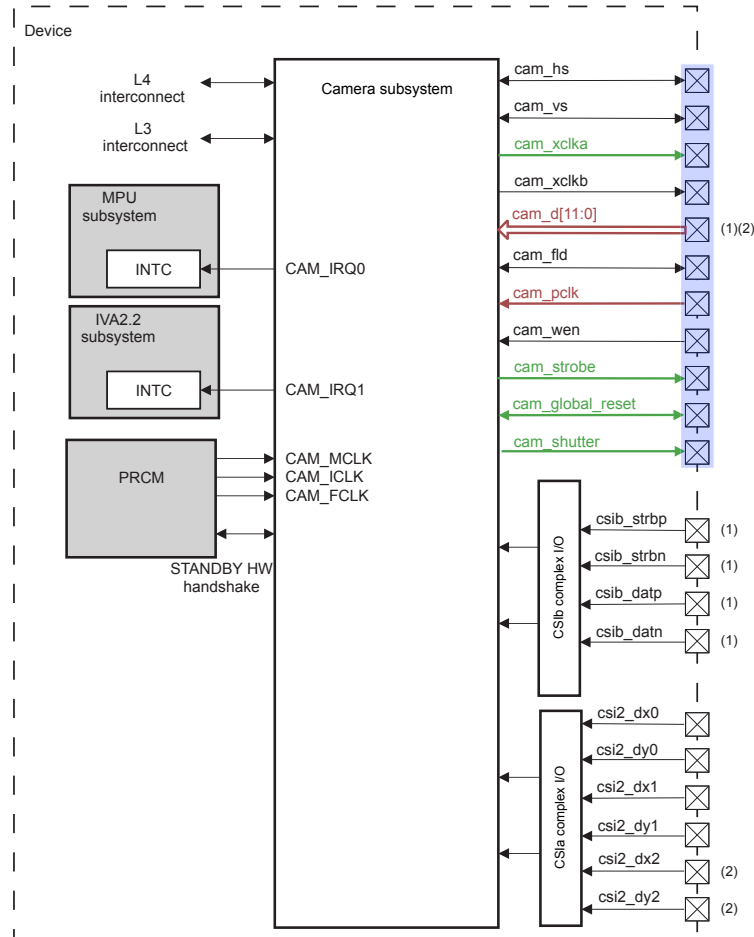


Abbildung 2.6: Kamera Subsystem des OMAP35xx Prozessors. Anschlussmöglichkeiten für Kamerasysteme sowohl über parallele als auch serielle Interfaces. Farblich hervorgehoben sind die Anschlüsse der ITU-R BT.656 Konfiguration (ITU Mode). Dabei sind die zwingend benötigten Signale rot und die optional zu verwendenden Signale grün gekennzeichnet. In blau hinterlegt sind alle Hardwareanschlüsse, die vom Prozessor zum 27-poligen FFC Anschluss auf der Oberseite des Gumstix Computer-On-Modul durchverbunden sind. (Quelle: [38], Page 1307, Figure 12-1)

- **SYNC Mode** In diesem Betriebsmodus kann das Kamera Subsystem 8-, 10-, 12-, oder 14-Bit parallele Videorohdaten verarbeiten, die an den Hardwareeingängen `cam_d[11:0]` anliegen (14-Bit nur gemultiplext). Der Arbeitstakt wird vom Kameramodul vorgegeben und liegt am `cam_pclk` (Pixelclock) an. Der Bildaufbau wird über zwei Synchronisationssignale `cam_hs` (horizontale Synchronisation, Line Trigger) und `cam_vs` (vertikale Synchronisation, Frame Trigger) vorgegeben. Die Signale `cam_wen`⁵, `cam_strobe`⁶, `cam_fld`⁷, `cam_shutter`⁸, `cam_global_reset`⁹ und `cam_xclka`¹⁰, die im SYNC Mode ebenfalls zur Verfügung stehen, sind optional.
- **ITU Mode** Im zweiten parallelen Betriebsmodus kann das Kamera Subsystem einen Videostream nach ITU-R BT.656 Standard verarbeiten. Der Unterschied zum ersten Modus besteht darin, dass bei diesem Videostandard keinerlei Synchronisationsleitungen neben den Datenleitungen und dem Pixeltakt benötigt werden. Stattdessen wird der Datenstrom mit eingebettetem Synchronisationscode¹¹ übertragen, um den Bildaufbau zu ermöglichen (ITU-R BT.656 Spezifikation [16]). In diesem Betriebsmodus können lediglich 8- oder 10-Bit Videodaten verarbeitet werden, wie es ebenfalls die Spezifikation vorsieht. Die Übertragungsgeschwindigkeit der Videodaten ist festgelegt auf 27 Mword/s, was bei parallelen Daten einem Pixeltakt von 27 MHz entspricht.

Die in blau hinterlegten Hardwarepins des OMAP35xx Prozessors aus Abbildung 2.6 sind direkt durchverbunden zum 27-poligen Flex-Cable Anschluss auf der Oberseite des Gumstix. Sie stehen dort neben einem I²C-Bus und einer Spannungsversorgung zur Verfügung, so dass ein Kameramodul direkt angeschlossen werden kann. Die Pinbelegung ist im bereits genannten Dokument „Gumstix Signal“ [14] zu finden.

2.2.2 Thermal-Kamera

Die zu integrierende Kamera ist eine TAU 640 der Firma Flir. Bei dieser Kamera handelt es sich um eine Thermal-Kamera, die den langwelligen Infrarotbereich abdeckt und explizit für Anwendungen entwickelt wurde, bei denen es auf minimale Größe und Gewicht ankommt. Die Kameras gibt es in unterschiedlichen Ausführungen, die sich anhand der

⁵write enable Signal; z. B. : Erst wenn `cam_wen` High ist sollen Bild/Video Daten in den Speicher geschrieben werden

⁶Triggersignal für einen Blitz

⁷Kennzeichnen von bestimmten Frames

⁸Triggersignal um einen mechanischen Shutter der Kamera auszulösen

⁹Resetsignal

¹⁰Externes Taktsignal um damit das Kameramodul zu betreiben

¹¹4-Byte langer start-of-aktiv Video (SAV) und end-of-aktiv Video (EAV) Synchron.-Code

Brennweite und somit dem Gesichtsfeld unterscheiden. Für das Wildretter Messsystem wird die Version mit 19 mm Brennweite und einem Öffnungswinkel von $32^\circ \times 26^\circ$ eingesetzt, da diese einen guten Kompromiss zwischen der Auflösung und abgedeckten Fläche bietet.



- **Max. Auflösung** 640 x 512 (PAL) | 640 x 480 (NTSC)
- **Bildfrequenz** 7 Hz (PAL) | 9 Hz (NTSC)
- **Spektrum** 8 – 14 μm
- **Abmessung** 38 mm x 38 mm x 49 mm (BxHxT)
- **Gewicht** 74 g

Abbildung 2.7: Thermal-Kamera Flir TAU640 (Quelle www.flir.com)

Die Versorgungsspannung darf im Bereich zwischen 4.4 V und 6.0 V liegen. Die Leistungsaufnahme der Kamera bei Raumtemperatur und während des normalen Betriebs ist mit ~1 W bei 5 V angegeben. In der Start Phase tritt ein Spitzenstrom von bis zu 1 A (bei 5 V) für etwa 1 ms auf. Ist der integrierte Shutter aktiv (Automatische Kalibrierung der Kamera alle 90 s; Dauer 200 ms), so steigt der Stromverbrauch der Kamera auf etwa 550 mA bei 5 V an. Die nachfolgende Liste gibt einen Überblick der Schnittstellen, die über den 50-poligen Hirose Connector an der Rückseite der Kamera abgreifbar sind [11]:

- **RS232** | Kommunikations-Schnittstelle nach dem RS232 Standard mit der Ausnahme, dass der Logikpegel bei lediglich 3.3 V liegt. Über diese Verbindung kann die Kamera eingestellt werden.
- **Digital Video** | 8- oder 14-bit parallele digitale Video-Schnittstelle. Konfigurierbar als BT.656, CMOS¹² oder LVDS¹³ Kanal.
- **Analog Video** | Analoger Videoausgang, der NTSC sowie PAL unterstützt.
- **Discrete I/O** | Im BT.656 Modus stehen acht I/O Ports zur Verfügung dessen Funktionen im User-Manual [11] Kapitel 4.2 nachgelesen werden können.

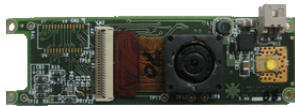
2.2.3 RGB-Kamera

Neben der Thermal- soll zusätzliche eine RGB-Kamera auf dem Oktokopter mitfliegen. Diese ermöglicht es neben dem infraroten Spektralbereich auch für den Menschen sichtba-

¹²Direkte 8- oder 14-bit Ausgabe der Bildsensor/Pixel Rohdaten; Bildaufbau mit Hilfe eines LINE- und FRAME-Valid Signals; Signalausgänge als 3.3 V CMOS Logik

¹³Schnittstellen Standard für Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung; Übertragung der Daten mit einem geringen differentiellen Spannungspegel

re Farbbilder aufzunehmen. Die Wahl fiel im Vorfeld auf die e-CAM32_OMAP_GSTIX vom Hersteller e-con Systems, die explizit für die COMs der Gumstix's Overo Serie entwickelt und gebaut wurden. Das 3,2 Megapixel Kamera Board wird über das 27-polige Kamera Interface mit Hilfe eines FFC angeschlossen. Über diesen Anschluss läuft die Spannungsversorgung, ein I²C-Bus als Konfigurationskanal und die parallele digitale Videodatenchnittstelle. Der Hersteller liefert zur Hardware ein Linux Softwaretreiber mit, mit dem die Kamera konfiguriert und Bild- sowie Videoaufnahmen gemacht werden können. Das Modul und die wichtigsten Spezifikationen sind in der Abbildung 2.8 dargestellt.



- **Max. Auflösung** 2048 x 1536 (QXGA)
- **Bildfrequenz** Bis zu 30 fps (XGA), 15 fps über XGA Auflösung
- **Videoaufnahme** Bis VGA-Auflösung mit 30 fps (mit Autofokus)
- **Software** V4L2 Linux Treiber
- **Abmessung** 58 mm x 17 mm x 9 mm (Wie das Gumstix Modul)
- **Gewicht** 6 g

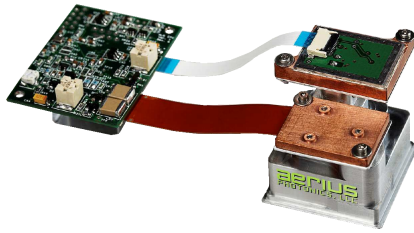
Abbildung 2.8: RGB Kamera e-CAM32_OMAP_GSTIX (Quelle: <http://www.e-consystems.com/omapovero.asp>)

Die elektrischen Eigenschaften und Spezifikationen, die die 27-polige Schnittstelle betreffen, werden vom Hersteller leider nicht Preis gegeben. Das Datenblatt des verbauten Image Sensors OV3640 [27] gibt zumindest Informationen über die möglichen Video Ausgangsformate. Aufgrund dessen, dass kein ITU-R BT.656 unterstützt wird und darüber hinaus der Sensor über Synchronisationsleitungen verfügt, ist davon auszugehen, dass das Kamera Subsystem des OMAP35xx Prozessors während des RGB-Kamera Betriebes im SYNC Mode läuft (siehe dazu 2.2.1). [8][9]

2.2.4 Laserdistanzsensor

Um eine Entfernungs- / Höhenmessung vornehmen zu können, soll die Sensorik um einen Laserdistanzsensor (LDS) erweitert werden. Verwendung finden soll ein Sensor aus dem Hause aeries Photonics, der wiederum auf geringen Stromverbrauch, Größe und Gewicht optimiert ist. Zudem besitzt dieser einen hohen Messbereich von ~0 m bis über 100 m mit einer Auflösung von unter 20 cm.

Der Sensor, wie in Abbildung 2.9 gezeigt, benötigt zwei Spannungsversorgungen (3.3 V und 12 V) für den laufenden Betrieb [3]. Aufgrund dessen, dass die 12 V mit dem drei Zellen Lithium Polymer Akku (11.1 V) des UAVs nicht ohne weiteres zu versorgen sind, wird



- **Wellenlänge** 905 - 940 nm
- **Arbeitsbereich** -0 m bis über 100 m
- **Auflösung** Besser als 20 cm
- **Leistungsaufnahme** < 400 mW (@ 255 Hz)
- **Messfrequenz** Bis zu 500 Hz
- **Sicherheitsklasse** Klasse 1M (<10 Hz) | Klasse 3B (>255 Hz)
- **Abmessung** 33 mm x 41 mm x 65 mm
- **Gewicht** 27 g (inkl. RS232 Power Adapter-Board)

Abbildung 2.9: Laserdistanzsensor MLR100 (Quelle: [2])

der MLR100 mit dem als Zubehör lieferbaren RS232 Power Adapter-Board betrieben. Damit wird lediglich eine 5 V Spannungsversorgung benötigt und zusätzlich steht eine komfortable RS232 Schnittstelle zur Kommunikation zur Verfügung. Pinbelegung des Adapter-Board's ist im Dokument „Connector Interface Guide, MLR100“ [1] zu finden.

2.3 Das alte Messsystem

Seit gut zwei Jahren sind DLR-Mitarbeiter unter anderem damit beschäftigt, ein Messsystem, installiert auf einem UAV, zu entwickeln und zu erproben. Der aktuelle Systemzustand soll in diesem Kapitel dargelegt werden, auf dessen Wissen die vorliegende Abschlussarbeit aufbaut. Das zu Beginn dieser Arbeit vorhandene Messsystem bestand aus folgenden Komponenten:

- **Computer-On-Modul** | Gumstix Overo COM
- **Expansion-Board** | Gumstix Tobi (PCB30002-R2549)
- **Thermal-Kamera** | Flir TAU 640
- **RGB-Kamera** | e-con Systems e-CAM32_OMAP_GSTIX
- **Framegrabber** | LogiLink VG001
- **2-Kanal Videosplitter** | New Generation Hobbies

Der Systemaufbau gestaltet sich nach Abbildung 2.10 und lässt sich wie folgt beschreiben: Das Tobi Expansion-Board stellt die Versorgungsspannung, den Konsolen- sowie

USB-Port bereit. Der analoge Videoausgang der Thermal-Kamera wird mit Hilfe des Videosplitters dupliziert, so dass ein Kanal für die Videofunkübertragung zur Bodenstation an die Nutzlasthalter-Elektronik des Falcons angeschlossen wird. Der zweite Kanal wird durch den Framegrabber digitalisiert und über den USB-Host Anschluss dem Gumstix zugeführt. Die RGB-Kamera arbeitet wie vorgesehen direkt an der 27-poligen Videoschnittstelle des Gumstix. Eine UART-Verbindung ist ebenfalls vorhanden. Diese wird zwischen der 40-poligen Stiftleiste des Tobi-Boards und der Nutzlasthalter-Elektronik hergestellt.

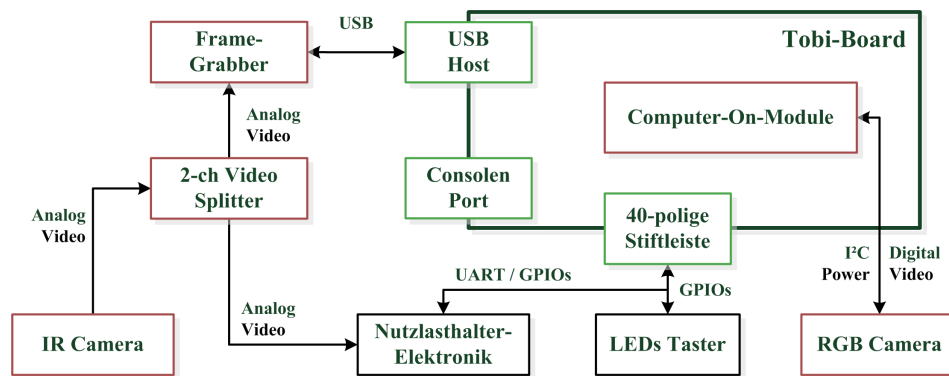


Abbildung 2.10: Systemaufbau des vorherigen Messsystems

3 Anforderungsanalyse an das neue Expansion-Board

3.1 Gewicht

Wie im Unterkapitel 2.1.1 aufgezeigt, darf der gesamte Messaufbau lediglich 320 g wiegen. Addiert man das Gewicht der vier Hauptkomponenten aus 2.2, so bleibt für das Expansion-Board und das Gehäuse, welches die Elektronik und Sensorik umgibt, inkl. Kleinteile nur noch 207 g.

$$m = 320 \text{ g} - (6 \text{ g} + 74 \text{ g} + 6 \text{ g} + 27 \text{ g}) = 207 \text{ g} \quad (3.1)$$

Um die Nutzlast einzuhalten, wurde eine grobe Einschätzung über das bestückte Expansionsboard, das Gehäuse und die Kleinteile (Schrauben, Kabel Stecker etc.) vorgenommen. Bei einer angenommenen Größe der Leiterkarte von ca. 38 mm x 110 mm, einer Leiterkartendicke von 1.6 mm und dem Standardmaterial FR4¹ wird ein Gewicht von rund 15 g angenommen. Die elektronischen Bauteile, Stecker und Kabel des Expansion-Boards sind ebenfalls mit ungefähr 15 g angesetzt. Aus diesen Annahmen ergibt sich, dass mindestens 170 g für das Gehäuse, die Stromzuleitung und dem Verbindungskabel zum Falcon Nutzlasthalter zur Verfügung stehen.

3.2 Größe und geometrische Anordnung

Die Abmessungen des gesamten Messsystems sind durch den Aufbau/Rahmen des Nutzlasthalters begrenzt. Die im Folgenden gezeigte Anordnung hat die resultierenden Außenabmessungen von ca. 110 mm × 70 mm × 53 mm (Breite × Höhe × Tiefe), wenn dieser als Quader angesehen wird. Vergleicht man diese Raummaße mit den Abmessungen aus den CAD-Grafiken aus Abbildung 2.2, so ist ersichtlich, dass der vorliegende Aufbau zum Nutzlasthalter kompatibel ist.

¹FR: engl. flame retardant; 4: Materialkennung für Epoxidharz + Glasfasergewebe

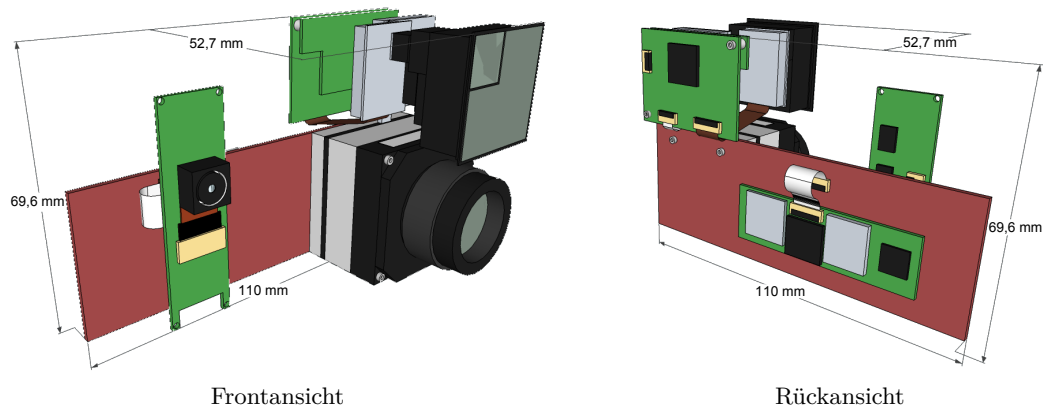


Abbildung 3.1: Entwurf des mechanischen Aufbaus. Gezeigt ist die geplante geometrische Anordnung der Einzelkomponenten zueinander. Das Expansion-Board ist in Rot hervorgehoben.

Die Thermal-Kamera soll, wie in Abbildung 3.1 skizziert, auf die Front des EB aufgesteckt werden. Dies geschieht über den 50-poligen Hirose Connector auf der Rückseite der Thermal-Kamera. Der Laserdistanzsensor ist oberhalb der Thermal-Kamera angeordnet und wird über eine Kabelverbindung mit dem EB verbunden. Für die RGB-Kamera ist ausreichend Raum auf der linken Seite vorhanden. Durch den Anschluss mit einem FFC ist gewisser Spielraum bei der geometrischen Anordnung der Kamera möglich. Das Computer-On-Module wird über die zwei 70-pin Board-to-Board Connectors auf der Rückseite des EBs aufgesteckt. Das Kamera-Interface, dessen Anschluss sich auf der Oberseite vom Gumstix befindet, wird ebenfalls mit einem FFC auf das EB durchverbunden.

3.3 Spannungsversorgung

Der gesamte Messaufbau soll mit einer Spannung in Höhe von 5 V versorgt werden. Die ebenfalls benötigten Spannungen von 3.3 V und 1.8 V werden intern auf dem Expansion-Board durch Spannungsregler erzeugt. Die Dimensionierung bzw. die Stromaufnahme richtet sich und berechnet sich aus den Einzelverbrauchern und kann überschlagen wie folgt angegeben werden. Dabei sind zum Teil Herstellerangaben sowie auch eigenständig durch-

geführte Messungen der Stromaufnahme eingeflossen.

$$\begin{aligned} I_{5V} &\approx I_{RGB} + I_{IR} + I_{LDS} + I_{COM} + I_{EB} + I_{USB-Device} \\ &\approx 70 \text{ mA} + 1000 \text{ mA} + 80 \text{ mA} + 450 \text{ mA} + 100 \text{ mA} + 500 \text{ mA} \\ &\approx 2200 \text{ mA} \end{aligned} \tag{3.2}$$

$$\begin{aligned} I_{3,3V} &\approx I_{RGB} + I_{COM} + I_{EB} \\ &\approx 70 \text{ mA} + 450 \text{ mA} + 100 \text{ mA} \\ &\approx 620 \text{ mA} \end{aligned} \tag{3.3}$$

Um Reserven zu gewährleisten, sind bei der Überschlagsrechnung Maximalwerte eingeflossen. Die Versorgungsspannung (5 V) muss demnach einen Strom von mindestens 2.2 A, wenn auch nur kurzzeitig, bereitstellen können. Die interne Spannungswandlung auf 3.3 V muss einen Strom von mindestens 620 mA liefern. Die 1.8 V werden lediglich für die Level-Shifter, das EEPROM, sowie die Taster und den Konsolenport benötigt und werden auf mindestens 10 mA ausgelegt.

Durch die Erkenntnis aus Kapitel 2.1.3 leitet sich ab, dass für das Messsystem eine eigene Versorgungsleitung gelegt werden muss. Grund dafür ist die maximale Stromaufnahme des Messsystems, die den Strom, der an dem Breakout-Board des Nutzlasthalters zur Verfügung steht, übersteigt. Bei einer direkten Leitung vom Lithium Polymer Akku des UAVs, kann die Störung der Servo's umgangen und eine ausreichende Energiezufuhr gewährleistet werden.

3.4 Funktionsumfang

Neben dem Gewicht, der Größe und einer stabilen Spannungsversorgung steht natürlich der Funktionsumfang des Expansion-Boards im Vordergrund. Die Funktionen, die durch die Elektronik abgedeckt werden sollen, sind im Folgenden aufgelistet und im Hardware-Blockschaltbild in der Abbildung 3.2 zusammengefasst:

- **Konsolenport** | Um mit dem Gumstix kommunizieren zu können, ist ein Konsolenport vorgesehen. Mit diesem kann über einen externen PC mit Terminalemulation auf das COM zugegriffen werden. Somit steht eine benutzerfreundliche Ein- und Ausgabe zur Verfügung. Weil viele neuwertige PCs oder Laptops keine serielle Schnittstelle mehr bieten, soll der Konsolenport als USB-Schnittstelle ausgelegt werden.

- **USB Host** | Obwohl der USB Host für den angedachten Messbetrieb erst einmal nicht benötigt wird, soll das Expansion-Board für Entwicklungszwecke dennoch einen USB-Port bereitstellen. Über diesen lassen sich z. B. Daten zwischen USB-Stick und Gumstix austauschen oder weitere Peripheriegeräte wie Framegrabber anschließen. Um hinsichtlich des Energieverbrauchs während des Flugbetriebs (Akkubetrieb) Energie einsparen zu können, wird eine Abschaltung der USB-Spannung realisiert. Dies ermöglicht, dass das USB-Gerät vom Gumstix aus an- bzw. ausgeschaltet werden kann.
- **EEPROM** | Identisch zu den Expansion-Boards des Herstellers Gumstix, soll auch die Eigenentwicklung mit einem kleinen nichtflüchtigen Speicher ausgestattet werden. In diesem können Konfigurationsinformationen des jeweils vorliegenden Boards abgelegt werden. Während der Boot-Phase greift das COM auf diese Informationen zu und erhält Informationen darüber auf welchem Board es implementiert ist. Als Konsequenz können entsprechende GPIO-Pins passend eingerichtet und entsprechend der angeschlossenen externen Hardware gesetzt werden. Ausgeführt werden wird es entsprechend dem Original als ein I²C fähiges und 1K großes EEPROM.
- **Laserdistanzsensor** | Neben der Spannungsversorgung muss der Distanzsensor mit einer RS232-Schnittstelle an den Gumstix angebunden werden. Angeschlossen werden kann er entweder über eine kleine platzsparende 4-polige Steckverbindung oder über ein direktes Anlöten einer Kabelverbindung.
- **Thermal-Kamera** | Ein äußerst wichtiger Bestandteil des Messsystems ist die Thermal-Kamera. Diese ist der elementare Sensor zur Rehkitz Detektion, weshalb ihr besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden soll. Wie bereits bei der Aufgabenstellung der Arbeit erwähnt, wurde die Kamera in der vorherigen Version des Wildretters über einen Framegrabber an den Gumstix gekoppelt. Um von dieser analogen Version auf eine digitale Bildübertragung zu wechseln, soll das EB die digitale BT.656 Schnittstelle der Kamera unterstützen. Das heißt, es muss eine Verbindung zwischen dem Video Interface des Gumstix und der Kamera hergestellt werden. Ein zweiter sehr wichtiger Aspekt ist die Kommunikation zwischen dem Gumstix und der Kamera während des Flugbetriebs. Bisher war es noch nicht möglich Einstellungen der Kamera während des Messflugs durchzuführen, um z. B. Empfindlichkeit oder Kontrast einzustellen. Hierfür muss eine UART-Verbindung aufgebaut werden. Der analoge Videoausgang der Kamera soll an dem Schnittstellenstecker zum Falcon Nutzlasthalter zur Verfügung stehen. Durch einen der zwei

Video-Down-Links steht somit das Echtzeit-Thermalbild an der Bodenstation zur Verfügung.

- **RGB-Kamera** | Bei der zum Einsatz kommenden RGB-Kamera ist der Implementierungsaufwand relativ gering. Diese Kamera ist explizit für den Gumstix entwickelt worden, so dass theoretisch ein Adaptieren mit einem FFC ausreicht, um die Funktionalität zu gewährleisten.
- **Video-Multiplexer** | Aufgrund dessen, dass sowohl die Thermal- als auch die RGB-Kamera das Video Interface des Gumstix nutzt, muss ein Multiplexen der Schnittstelle vorgenommen werden. Das Umschalten erfolgt dabei vom Gumstix.
- **LED/Taster** | Für binäre Ein- und Ausgaben sollen zum einen LEDs und zum anderen Taster zur Verfügung stehen. Diese können während des Softwareentwicklungsprozesses behilflich sein sowie im späteren Messbetrieb Systemzustände anzeigen oder z. B. zum Starten von Softwaremodulen dienen.
- **Backup-Batterie** | Es ist wünschenswert den aufgenommenen und abgespeicherten Bildern ein Datum sowie eine Uhrzeit zuordnen zu können. Wird das Messsystem ausschließlich mit dem Lithium Polymer Akku des UAVs versorgt, so muss das Datum und die Uhrzeit nach jedem Akkuwechsel neu gestellt werden. Um dies zu vermeiden, soll eine Backup-Batterie vorgesehen werden, die das System (Real-Time Clock Einheit des TPS65950 [37]) bei unterbrochener Hauptstromversorgung mit Energie versorgt, so dass Datum und Uhrzeit weiterlaufen.
- **Kommunikationsverbindungen zum Falcon 8** | Für die binäre Kommunikation sollen zwischen dem Falcon Breakout-Board und dem Messsystem drei² GPIO-Leitungen zur Verfügung stehen. Für einen komplexen Informationsaustausch soll die UART-Schnittstelle des Falcons an den Gumstix angebunden werden.

²Maximal zur Verfügung stehende Anzahl von GPIO-Anschlüssen am Breakout-Board (Anhang A)

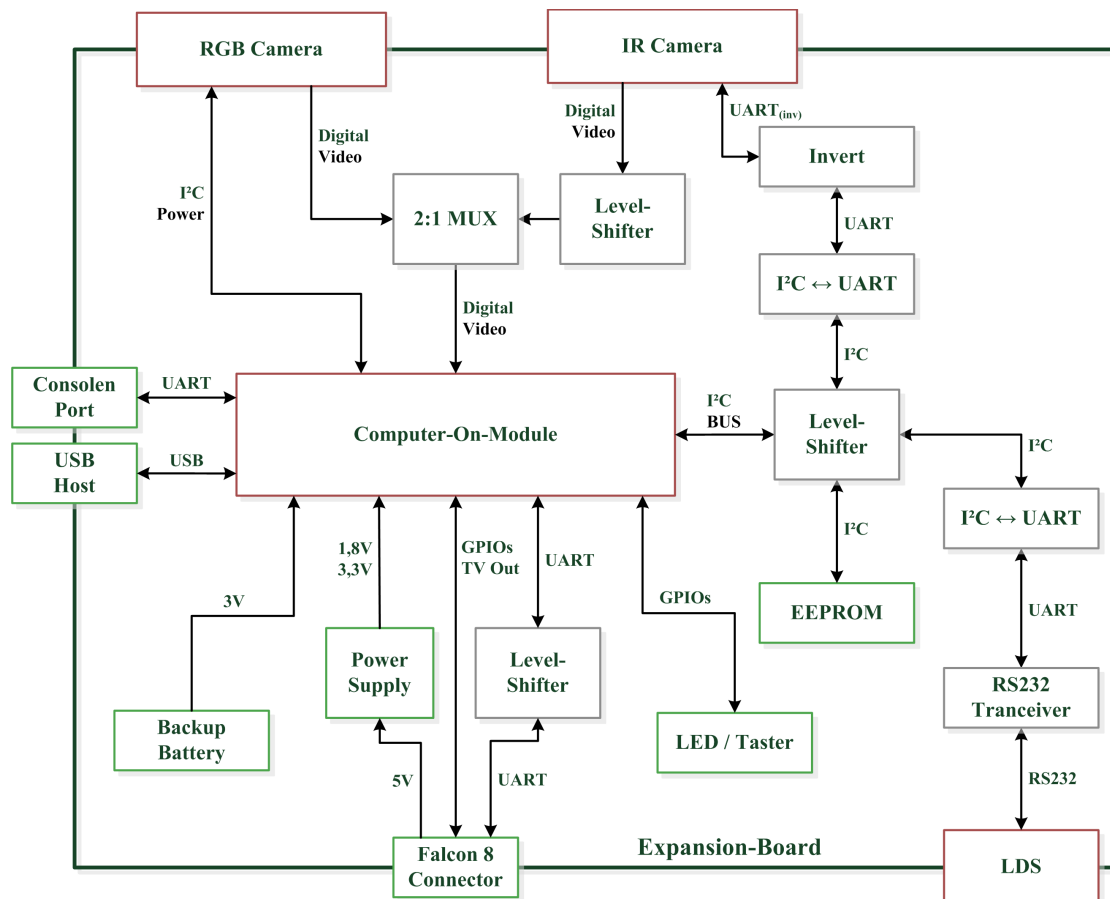


Abbildung 3.2: Blockschaltbild des Expansion-Boards

4 Hardwareaufbau

4.1 Module

4.1.1 Spannungsversorgung

Wie bereits im Kapitel 3 *Anforderungsanalyse* erwähnt, wird das Expansionboard mit einer Spannung von 5 V DC über den 10-poligen Wannenstecker versorgt. Neben dieser Eingangsspannung sind noch zwei weitere Gleichspannungen für das Gesamtsystem erforderlich. Aus diesem Grund wird aus den 5 V, mit Hilfe eines Step-Down-Converter, eine Spannung von 3.3 V erzeugt. Ein linearer Analogspannungsregler erstellt aus den 3.3 V wiederum eine Spannung von 1.8 V. Der überwiegende Teil der Elektronik arbeitet mit dem 3.3 V Spannungspotential, weshalb auch an dieser Stelle der benötigte Ausgangsstrom am größten ist. Um die Verlustleistung der Spannungswandlung für das batteriegetriebene System möglichst gering zu halten, wurde bewusst ein Schaltregler für diese Aufgabe eingesetzt. Bei der 1.8 V Hilfsspannung, die lediglich mit ein paar mA belastet wird, konnte stattdessen ein kleiner Linearregler eingesetzt werden. Dieses hat den Vorteil, dass nicht zusätzliche Taktfrequenz-Störungen eines zweiten Schaltreglers das System belasten.

Step-Down-Converter TPS62111

Die Wahl beim Schaltregler fiel auf die Bausteinfamilie TPS6211x, da diese einen hohen Wirkungsgrad von bis zu 95 % versprechen und mit einem Ausgangsstrom von 1.5 A ausreichend dimensioniert sind. Den Step-Down Converter gibt es in verschiedenen Versionen. Neben einer einstellbaren Ausgangsspannung sind zusätzlich Versionen mit einer Festspannung am Ausgang von 3.3 V oder 5 V erhältlich. Um flexibel bei der Auswahl und Bestückung zu sein, wurde der Schaltplan und das Layout so vorgesehen, dass sowohl die einstellbare als auch die Version mit fester Ausgangsspannung verwendet werden kann. Die Außenbeschaltung des Bausteins entspricht ziemlich genau der Standardapplikation Figure 20/21 des Datenblattes [36]. Aktuell ist, wie in der Abbildung 4.1 zu erkennen, ein TPS62111 (3.3 V) verbaut, was bedeutet, dass $R3$ und $C3$ unbestückt bleiben und $R2$ überbrückt ist. Dies hat zur Folge, dass auf den Feedback Eingang (FB) die

wurden jeweils $X5R$ Kondensatoren. Bei der Induktivität kommt es vor allem auf einen kleinen DC-Widerstand an, um ebenfalls die Verlustleistung niedrig und somit die Effizienz der Spannungswandlung möglichst hoch zu halten. Ebenfalls zu beachten ist die Strombelastbarkeit der Spule, da durch sie der gesamte Ausgangsstrom des Wandlers fließt.

Linearer Spannungsregler MIC5247-1.8

Für die Erzeugung der 1.8 V wurde ein Low-Voltage Linearregler mit sehr guten Rauscheigenschaften⁴ ausgewählt. Der MIC5247-1.8 ist ein Festspannungsregler, der einen Ausgangsstrom von maximal 150 mA liefern kann. Die Außenbeschaltung ist, wie für einen Linearregler typisch, sehr einfach gehalten. Auch hierbei kommt jeweils ein Keramik-kondensator (X5R) als Stützkondensator am Ein- und Ausgang zum Einsatz. Der Kondensator C21 ist optional, wurde aber zur Verbesserung des Rauschverhaltens verbaut. Dieser stabilisiert und entstört die interne Referenzspannungsquelle. Der Enable/Shut-down CMOS Eingang (EN) des Bausteins darf nicht unbeschaltet bleiben, weil in Folge dessen der Ausgang einen unvorhergesehenen Zustand einnehmen kann. In Anbetracht dessen, dass ausreichend freie GPIO-Pins des Gumstix zu Verfügung stehen, wurde die Spannungsversorgung von 1.8 V schaltbar ausgeführt, statt den Pin lediglich auf High (Baustein Enable) zu legen. [23]

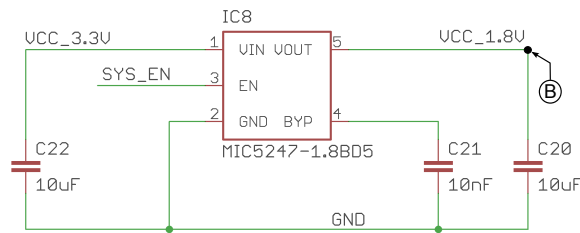


Abbildung 4.2: Spannungswandlung von 3.3 V auf 1.8 V mit dem linearen Spannungsregler MIC5247-1.8

4.1.2 Konsolenport

Bei der Auslegung des Konsolenports wurde sich an den Aufbau der Gumstix EBs angelehnt. Das Herzstück der Schaltung ist ein USB UART Interface IC vom Hersteller FTDI. Für diesen Chip sind auf der Internetseite des Herstellers kostenlose Treiber verfügbar. Nach der Installation und dem Anschluss der Hardware steht ein virtueller COM-Port zur Verfügung. Somit können unter Zuhilfenahme einer Terminal Software

⁴typischerweise $e_n = 30 \mu V_{RMS}$ ($C21 = 10 nF$, $C20 = 10 \mu F$)

UART-Nachrichten gelesen und geschrieben werden. Der Aufbau der Schaltung ist in der Abbildung 4.3 gezeigt und wird im folgenden Abschnitt erläutert.

Die Spannungsversorgung des FT232R Chips wird durch die 5 V USB-Spannung sichergestellt. Dies hat den Vorteil, dass die Schaltungskomponente nur in Betrieb ist, wenn auch ein Computer an der USB-Buchse angeschlossen ist. Direkt an der Mini-USB Buchse puffert der Kondensator $C9$ die Eingangsspannung. Über zwei in Serie geschaltete Ferrite-Beads ($FB1$, $FB2$) soll EMI⁵ Rauschen auf der USB-Spannung vermindert werden. Nach der Filterung dienen die zwei Kondensatoren $C5/6$ abermals zur Pufferung und Entstörung der Versorgungsspannung. Die $LED4$ mit Vorwiderstand $R8$ zeigt an, sobald ein Computer mit dem EB verbunden ist. Mit welchem Logikpotential das IC arbeitet, kann mit der Spannung am Eingang VCCIO festgelegt werden.

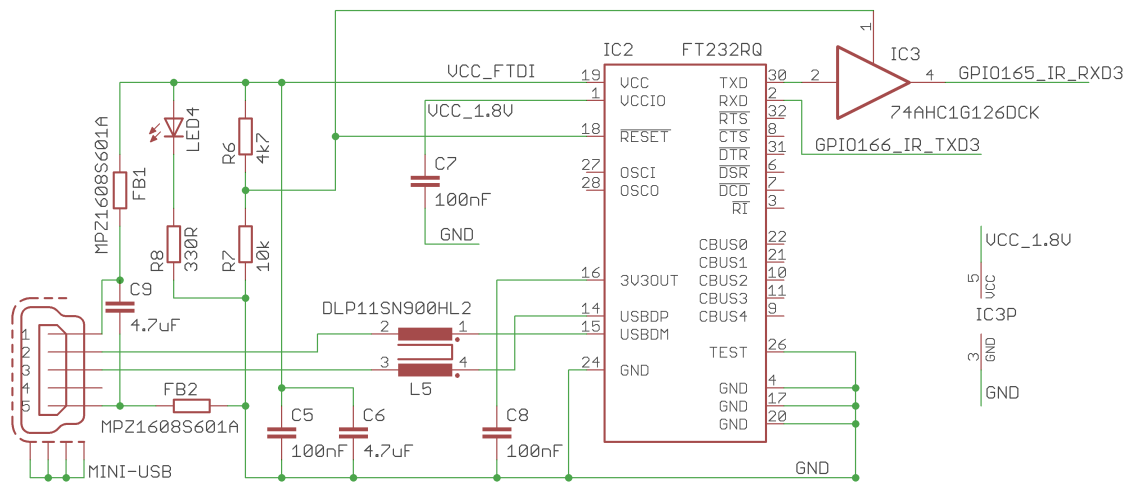


Abbildung 4.3: Konsolenport des Expansion-Boards. Realisiert mit einem USB / UART Converter, dem FT232R.

Die Datenleitungen $D+$ und $D-$ des USB-Busses sind durch eine Gleichtaktdrossel (Common Mode Choke) $L5$ geführt, um Gleichtakt Störungen⁶ zu dämpfen. Auf diese gleichsinnigen Störströme wirkt die Drossel mit einer hohen Induktivität, da sie sich im Inneren nicht kompensieren.

Für den normalen Betrieb kann der Reset-Pin (Low-Active) des Bausteins FT232R entweder unangeschlossen bleiben oder definiert an VCC gelegt werden. Anstatt den Pin

⁵engl.: Electromagnetic interference; Alle elektronischen Geräte strahlen Energie in Form elektromagnetischer Wellen ab. Wenn diese Wellen auf ein anderes elektronisches Gerät treffen, kann durch Induktion (Einkopplung) von Energie das Gerät störend beeinflusst werden. Man spricht von Elektromagnetischer Interferenz

⁶Störströme die in Hin- und Rückleitung gleichsinnig auftreten

direkt mit VCC zu verbinden, haben die Entwickler von Gumstix diesen über einen Spannungsteiler⁷ mit VCC verbunden. Die Funktion ist mit dieser Lösung ebenfalls vollständig gegeben und wurde deshalb übernommen.

Ebenfalls übernommen wurde der Buffer/Line-Driver Baustein (IC3 - 74AHC1G126) in der Transmit-Leitung. Als Leitungstreiber wird er an dieser Stelle der Schaltung wohl nicht benötigt werden, weil die Strecke zwischen FT232R und Gumstix verhältnismäßig kurz ist. Die Qualität der Signalübertragung sollte demnach mit und ohne Line-Driver mehr oder weniger identisch sein. Ein sinnvoller Grund den Treiber dennoch zu verbauen, ist sein Tri-State Ausgang, der über den Output Enable Eingangspin kontrolliert wird. Ist kein Computer am USB Konsolenport angeschlossen, so ist die Spannung U_{Reset} Low und demnach ebenfalls der Output Enable Pin des Line-Drivers auf Low gesetzt. Der Ausgang des Bausteins nimmt den Zustand High-Impedance an und stellt für den Gumstix keinerlei Belastung mehr da. Die UART-Schnittstelle 3 des Gumstix könnte somit bei nicht Gebrauch des Konsolenports für andere Zwecke genutzt werden. [25]

4.1.3 USB Host

Die Computer-On-Module der Serie Overo COM sind bereits mit einem USB Transceiver ausgestattet (User Manual: *Gumstix Overo COM: Signals*[14]; Seite 2; Blockschaltbild), der mit dem OMAP35xx über ein ULPI⁸ Interface kommuniziert. Der verbaute Baustein USB3326[32] ist mit einer Beispiel-Applikation in der Abbildung 4.4 gezeigt. Exemplarisch verdeutlicht die grün hinterlegte Fläche die noch zu integrierende Hardware, die neben dem Gumstix Modul zusätzlich benötigt wird, um eine USB Funktionalität zu erhalten. Die Signale *CPEN*, *VBUS*, *DM* und *DP* liegen auf einem der 70-Pin Board-To-Board Connectors des Gumstix (vgl. [14] J4) und sind im Schaltplan 4.5 als *GPIO168_USBH_CPEN*, *USBH_VBUS*, *USBH_DM* und *USBH_DP* bezeichnet.

Die Abbildung 4.5 zeigt den Schaltplan der USB Host Erweiterung, die auf dem EB untergebracht ist. Auch beim USB Host kommen Ferrite-Beads (*FB3*, *FB4*) und eine Gleichtaktdrossel (*L2*) zum Einsatz, um Störungen auf der USB-Leitung zu dämpfen. Ein 100 μ F Kondensator (*C12*) dient zum Puffern der USB-Spannung, während *C10* als Endstörkondensator zwischen USB- und Systemmasse fungiert. Um neben der USB-Buchse (Typ A) die Möglichkeit eines Lötanschlusses zu haben, wurden parallel zur Buchse Lötunkte (*JP1*) vorgesehen. Das direkte Anlöten des USB-Kabels spart Ge-

⁷Spannungsteiler aus *R6* und *R7*; $U_{Reset} = \frac{VCC \cdot FTDI \cdot R7}{(R6 + R7)} = 3.4 \text{ V}$; $U_{Reset} \geq \text{Input Switching Threshold}$ (Table 5.11 - RESET# and TEST Pin Characteristics [13])

⁸Abk. für UTMI+ Low Pin Interface (UTMI Abk. für USB 2.0 Transceiver Macrocell Interface)

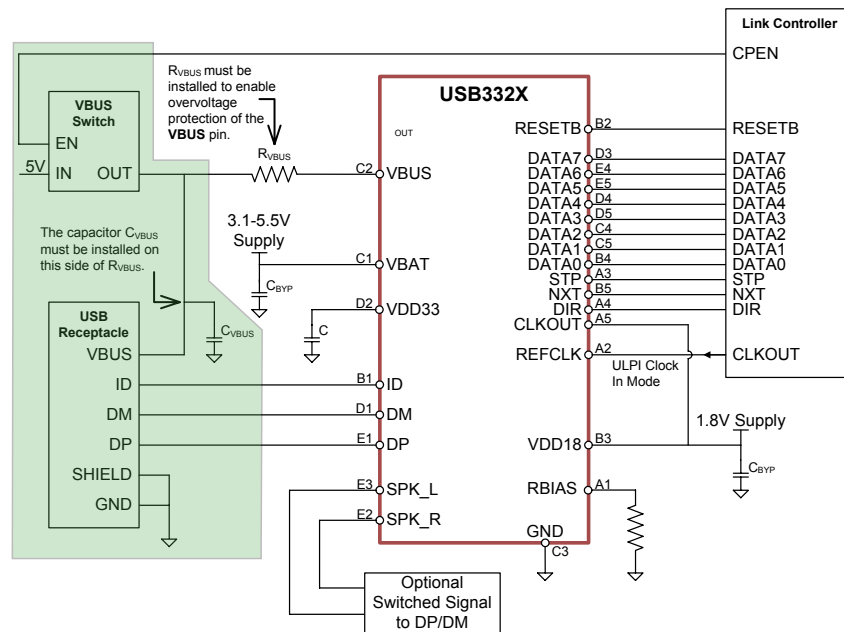


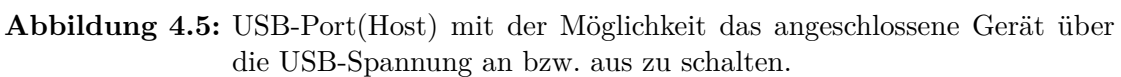
Abbildung 4.4: USB3326 Transceiver mit exemplarischer Außenbeschaltung. Der Baustein ist über ein ULPI Interface mit dem OMAP35xx (Link Controller) verbunden und befindet sich bereits auf dem Computer-On-Modul. Lediglich die mit grün hinterlegte Hardware muss extern ergänzt werden, um eine USB Funktionalität zu erhalten (Quelle [32]; Modifizierung: grüne Fläche)

wicht im Flugbetrieb und lässt sich zudem platzsparender im Messaufbau unterbringen. Um die angeschlossene USB-Geräte an- bzw. ausschalten zu können, kommt der High-Side Schalter TPS2051⁹ (IC9) zum Einsatz. Mit diesem Mosfet-Schalter lässt sich die 5 V Versorgungsspannung des Messsystems direkt auf die USB-Buchse schalten. Das Schalten lässt sich über den Enable Eingang (EN) vornehmen. Weil die 1.8 V GPIO-Level des Gumstix nicht mit der High-Level Schwelle (min. 2 V) des TPS2051 harmoniert, muss an dieser Stelle eine Pegelanpassung vorgenommen werden. Die Anpassung wurde mit einem Buffer/Driver (74AHC1G126) realisiert. [35][25]

4.1.4 I²C Komponenten

Um mit verschiedenen Hardwaremodulen innerhalb des EB zu interagieren, kommt der serielle I²C-Datenbus zum Einsatz, der explizit für die geräteinterne Kommunikation entwickelt wurde. Alle angeschlossenen I²C Komponenten, die im Verlauf dieses Unter-

⁹Operating Range: 2.7 V to 5 V; Continuous Current: 500 mA; On Resistance: max. 135 mΩ (5 V)



Die Abbildung 4.6 zeigt den ADG3304 [4], mit dem die Wandlung für den I²C-Bus (*SCL*, *SDA*) vorgenommen wird. Die A Seite (rechts) wird mit 1.8 V versorgt und demnach mit dem Gumstix verbunden. An der Y Seite (links) kann die I²C-Busleitung mit einem Logik-Pegel von 3.3 V abgegriffen werden. Die obligatorischen Pull-Up Widerstände *R16* und *R17* haben die Aufgabe, die jeweilige Leitung auf High-Pegel zu ziehen, wenn der Bus gerade ungenutzt, also frei ist. Dies hat folgenden Hintergrund: Alle angeschlossenen Busteilnehmer haben entweder open-drain oder open-collector Stufen. Dies wiederum bedeutet, dass sie die Busleitungen lediglich auf Masse ziehen können. Wären die Pull-Up Widerstände nicht vorhanden, so würde der Bus dauerhaft auf Low oder einem undefinierten Zustand liegen, so dass eine Übertragung unmöglich wäre (The I²C-Bus Specification [30]; 5. General Characteristics / Fig.3).

¹¹Slave Adresse (Bit 7 bis 1); Write/Read (Bit 0)

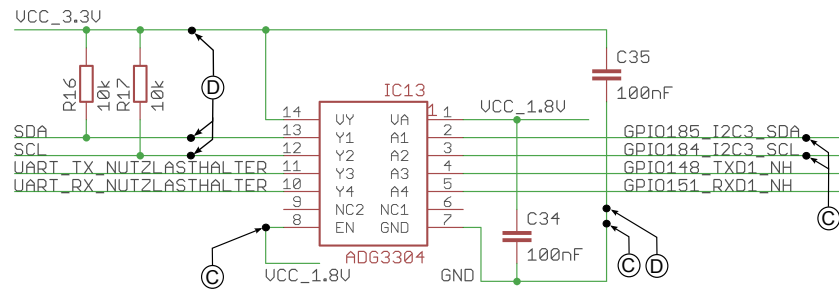


Abbildung 4.6: Level-Shifter für den I²C-Datenbus und der UART-Schnittstelle (Falcon 8 Nutzlasthalter - Messsystem). **WICHTIG:** Bei der Inbetriebnahme wurde festgestellt, dass die Funktion des I²C-Datenbuses mit diesem Aufbau nicht gewährleistet ist. Es wurden Änderungen am Schaltplan durchgeführt, die im Kapitel 5.2.4 erläutert sind!

eingeleitet. Alle am Bus angeschlossenen Slaves lesen das Byte mit und vergleichen es mit ihrer eigenen Adresse. Alle I²C Bausteine haben eine feste Adresse, bei der aber letztendlich einige Bits über Hardware Pins eingestellt werden können, indem diese fest mit der Masse oder der Versorgungsspannung des Bausteins verbunden werden. Somit ist es dem Entwickler möglich, auch mehrere Bausteine vom gleichen Typ an einem Bus in Betrieb nehmen zu können. Die drei Baugruppen, die auf dem Expansion-Board an den Bus angeschlossen sind, haben die Adressen (**Bausteinspezifisch (fest)**; **Hardwarepins (einstellbar)**):

- **AT24C01B (EEPROM) | 1010001**
- **SC16IS740 (Laserdistanzsensor) | 1001000**
- **SC16IS740 (Thermal-Kamera) | 1001001**

und sollen nachfolgend näher erläutert werden.

4.1.4.1 EEPROM

Die Funktion des EEPROMs wurde bereits im Kapitel 3 *Anforderungsanalyse an das neue Expansion-Board* erläutert. In Anlehnung an die kaufbaren Expansion-Boards vom Hersteller Gumstix wird ein ATMEL AT24C01B [5] mit 1024 Bits eingesetzt. Der Baustein wird über die drei Hardwarepins A0, A1 und A2 adressiert, wie es in der Abbildung 4.7 nachvollzogen werden kann. Bei gezeigter Konfiguration erhält man die Teiladresse **001**, wie sie im vorherigen Absatz bereits angesprochen wurde.

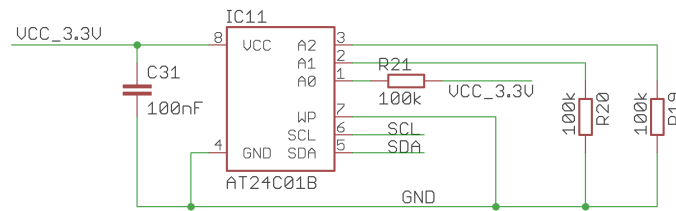


Abbildung 4.7: Two-wire Serial EEPROM AT24C01B

Der Write Protect Pin (WP) ist fest auf Masse gelegt, wodurch der Speicher dauerhaft im normalen Read/Write Modus arbeitet. Wohingegen WP auf VCC gelegt einen Schreibschutz bedeuten würde.

4.1.4.2 RS232 Schnittstelle (LDS)

Als Kommunikationsschnittstelle steht am Laserdistanzsensor ein RS232-Interface zur Verfügung. Um die serielle RS232 Schnittstelle für den LDS zu erhalten, muss mit entsprechendem Interface (RS232 Transceiver) auf die UART Schnittstelle aufgebaut werden, die an „jedem“ Mikrocontroller vorhanden ist. Der auf dem Gumstix verbaute OMAP35xx stellt gleich drei UART Schnittstellen bereit ([14], Seite 2). UART 1 ist für den Datenaustausch zwischen dem Oktokopter und dem Messsystem vorgesehen (vgl. Unterkapitel Anschlussstecker 4.1.6.4). Das UART 2 Interface wird intern auf dem Computer-On-Modul verwendet, um mit dem Baustein W2CBW003¹² zu kommunizieren und steht aus diesem Grund für Entwicklungen nicht zur Verfügung. Wie aus dem Kapitel 4.1.2 bekannt, wird UART 3 für den Informationsaustausch auf dem Konsolen Port verwendet und ist somit ebenfalls unabkömmlich. Aus diesem Grund kommt für eine zusätzlich benötigte UART Schnittstelle das IC SC16IS740 [26] zum Einsatz. Dabei handelt es sich um einen I²C-Bus/SPI Slave, der ein Interface zu einem Einkanal UART darstellt.

Die Abbildung 4.8 zeigt den Kommunikationspfad für die Anbindung des Laserdistanzsensors an den Gumstix. Das IC10 ist der oben angesprochene I²C-UART Slave, der über die SCL und SDA Leitung mit dem Level-Shifter (vgl. Abbildung 4.6) verbunden ist. Die Adressierung wird über die zwei Hardwarepins A0 und A1 vorgenommen, indem man VCC, Masse, SCL oder SDA an die entsprechenden Anschlüsse legt. Liegt jeweils VCC an, so ergibt sich die Teiladresse 01000 ([26] 10.3 Addressing). Damit der Baustein ständig aktiv ist, wurde der Reset Pin ebenfalls auf VCC gelegt. Um Bausteinzustände und -ereignisse an den Gumstix weitergeben zu können, ist ein Interrupt Ausgang

¹²WLAN 802.11 b/g und Bluetooth v2.0 Module vom Hersteller Wi2Wi (Wireless 2 Wireless)

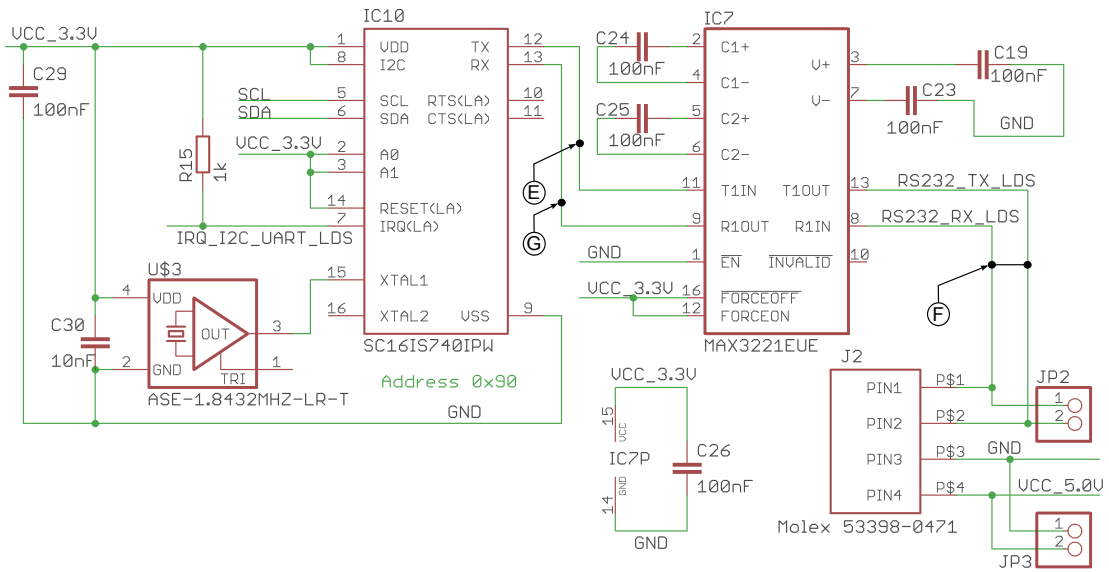


Abbildung 4.8: Kommunikations-Schnittstelle zwischen dem LDS und dem Gumstix. Wandlung von I²C über UART nach RS232.

vorhanden. Weil es sich bei diesem um einen open-drain, aktiv LOW Ausgang handelt, muss auch an dieser Stelle extern mit einem Pull-up Widerstand die Funktion sichergestellt werden. Das Datenblatt sieht bei einer Versorgungsspannung von 3.3 V einen Widerstandswert von 1 k Ω vor.

Damit der SC16IS740 die UART Baud-Rate passend generieren kann, muss ein externer Takt anliegen, von dessen Frequenz die Baud-Rate abgeleitet wird. Tabelle 7 im Datenblatt [26] zeigt, dass sich mit einem 1.8432 MHz Oszillator und entsprechend programmiertem Teiler¹³ so gut wie alle vorkommenden Baud-Raten einstellen lassen. Das RS232 Interface des LDS arbeitet mit einer Baud-Rate von 19200, weshalb der interne Teiler auf 6 eingestellt werden muss. Anstelle eines Keramikresonators oder Quarzes an den Pins *XTAL1* und *XTAL2* wurde ein Quarzoszillator (*U\$3*) verbaut. Dieser liefert selbst ein Taktsignal, ist hochgenau und darüber hinaus sehr temperaturstabil.

Als RS232 Interface kommt ein Single (1-driver/1-receiver) Transceiver zum Einsatz. Die Auswahl fiel auf den MAX3221 [20], da dieser vielfach in batteriebetriebenen Geräten aufgrund des geringen Stromverbrauchs verwendet wird. Die Beschaltung des Bausteins ist typisch und richtet sich nach der Standardbeschaltung aus dem Datenblatt. Die zwei Kondensatoren der Ladungspumpe *C24* und *C25* sowie die zwei Buffer-Kondensatoren

¹³Teilerwert wird in zwei 8-bit Register (DLL, DLH) geschrieben; [26] 8.12 Division registers (DLL, DLH)

$C19$ und $C23$ sind mit 100 nF laut Datenblatt dimensioniert. Der Hardwarepin (\overline{EN}) liegt dauerhaft auf Masse, so dass das IC im normalen Betriebsmodus arbeitet. Die Auto-Shutdown Funktion ist mit $\overline{FORCEOFF} = FORCEON = VCC$ ebenfalls deaktiviert. Um den LDS an das EB anzuschließen, ist ein 4-poliger Anschlussstecker¹⁴ vorhanden. Es handelt sich bei dieser Steckverbindung um die gleiche, die auch auf dem Adapter-Board (vgl. 2.2.4) des LDS verbaut ist und wurde in Folge dessen ausgewählt. Parallel zum Stecker stehen noch Lötunkte ($JP2$ und $JP3$) für die direkte Kabelanbindung bereit.

4.1.4.3 UART Schnittstelle (IR-Kamera)

Laut dem Datenblatt der Thermal-Kamera ([11]; Appendix B Serial Communication Technical Details) besitzt die TAU 640 ein serielles Kommunikationsinterface nach dem RS232 Standard, mit dem einzigen Unterschied, dass die Signalpegel für Low und High bei 0 V und 3.3 V liegen, anstatt bei -15 V und 15 V. Die Abbildung 4.9 soll den Zusammenhang zwischen einem UART, Standard RS232 und dem seriellen Interface der TAU 640 verdeutlichen. Wie aus der Abbildung zu entnehmen ist, handelt es sich bei dem spezifizierten Datenstrom der Thermal-Kamera um ein invertiertes UART Signal.

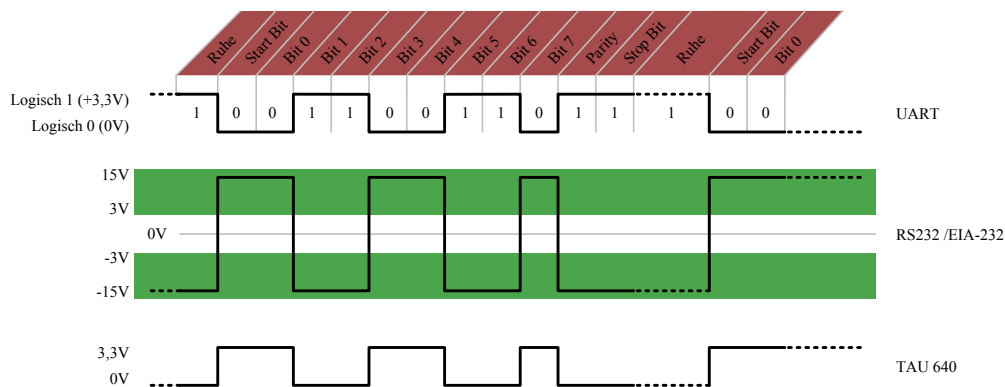


Abbildung 4.9: Beispielhafter serieller Datenstrom einer 8-Bit Nachricht. Verlauf eines UART-Signals mit den Spannungspegeln für Low 0 V und High 3.3 V (oben). Dazu passendes invertiertes Signal nach dem RS232 (EIA-232) Standard (mitte). Signalpegelverlauf nach der Spezifikation der TAU 640 Thermal-Kamera (unten). Der Signalverlauf ist identisch zum RS232 Standard mit dem Unterschied, dass die Signalpegel bei 0 V und 3.3 V liegen.

Somit wird für die Kommunikation mit der Thermal-Kamera ebenfalls eine serielle

¹⁴Molex PicoBlade 53398-0471; Pinbelegung: (1)*Rx*, (2)*Tx*, (3)*GND*, (4)5 V

UART Schnittstelle benötigt. Identisch zum Aufbau des Laserdistanzsensors 4.1.4.2, wird auch für den Datenaustausch zwischen Gumstix und Thermal-Kamera ein I^2C -UART Interface eingesetzt, aufgrund der bereits vergebenen UARTs des OMAP35xx. Wie in der Abbildung 4.10 zu sehen, ist die Außenbeschaltung des SC16IS740 größtenteils identisch zur Beschaltung aus Abbildung 4.8. Die einzige Änderung besteht darin, dass der Hardwarepin A0 diesmal auf Masse gelegt ist, um dem Baustein eine noch unbenutzte I^2C -Slave-Adresse (Teiladresse: **01001**) zuzuweisen.

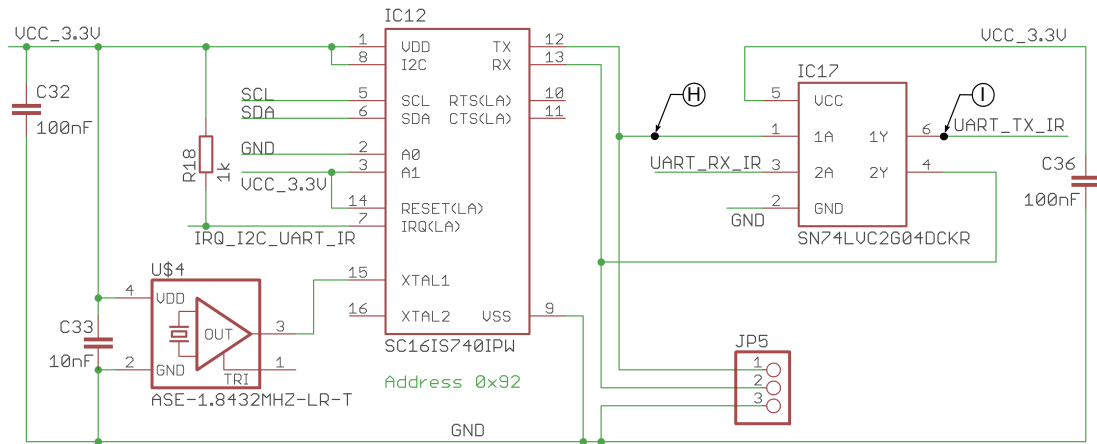


Abbildung 4.10: Kommunikations-Schnittstelle zwischen der IR-Kamera und dem Gumstix; Wandlung von I^2C nach UART mit anschließender Invertierung des UART-Signals (Die Signale UART_RX_IR und UART_TX_IR finden sich am 50-poligen Anschlussstecker der IR-Kamera wieder B.2)

Für die Invertierung des UART Signals kam ein Zweifachinverter, der SN74LVC2G04 [34], zum Einsatz. Wichtig bei der Auswahl war vor allem die Schnelligkeit des Bausteins. Die Thermal-Kamera arbeitet mit einer Baud Rate von 57 600. Das bedeutet, dass 57 600 Signaländerungen pro Sekunde auf der Leitung auftreten können. Aus den Signaländerungen pro Sekunde folgt eine maximal anzutreffende Frequenz von 28 800 Hz bzw. eine Periodendauer $T \approx 34.72 \mu s$. Bei einer Verzögerungszeit zwischen Ein- und Ausgang von max. 4.1 ns (bei $VCC = 3.3 V \pm 0.3 V$) und einer An- und Abfallzeit der Schaltflanken von typischerweise $10 ns/v$ ist der oben genannte Baustein mehr als ausreichend dimensioniert. Die Abbildung 4.10 zeigt, dass sowohl die Rx als auch die Tx Leitung durch das Inverter-IC durchgeschliffen werden, um die Anpassung vorzunehmen. Über die Stiftleiste/Lötpunkte (JP5) lässt sich nebenbei von Außen mit einem UART Signal auf das EB zugreifen. Es bietet sich somit zusätzlich die Möglichkeit, z. B. mit einem USB-UART Adapter am PC/Laptop, auf die Kamera im eingebauten Zustand

zuzugreifen.

4.1.5 Digitale Videoschnittstelle (RGB-/IR Kamera)

Wie es bereits in dem Kapitel 3.4 *Funktionsumfang* angesprochen wurde, soll sowohl die Thermal- als auch die RGB-Kamera an das Video-Interface des Computer-On-Moduls gekoppelt werden. Betrachtet man die RGB-Kamera für sich, so stellt die Anbindung kein Problem dar. Die e-CAM32_OMAP_GSTIX wurde explizit für diese Schnittstelle entwickelt, kann einfach angeschlossen werden und sollte anschließend problemlos funktionieren. Soll ein zweites Kameramodul ins Spiel kommen, das ebenfalls über die Video-Schnittstelle des Gumstix laufen soll, so muss zwischen den zwei Kamerasystemen umgeschaltet werden können. Mit der Abbildung 4.11 soll diese Tatsache verdeutlicht werden.

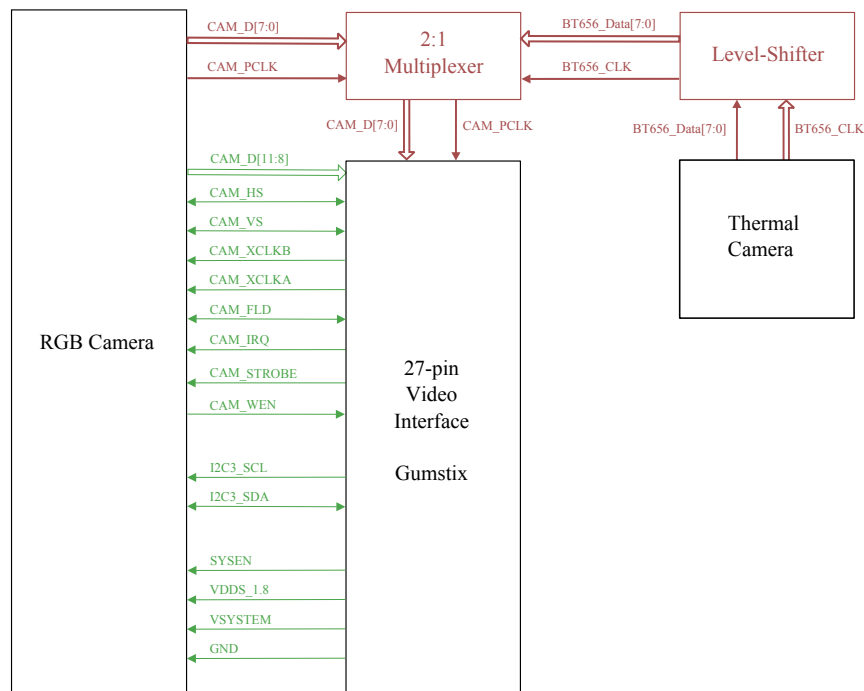


Abbildung 4.11: Signal Multiplexer für die RGB- und Thermal-Kamera. Umschalten lassen müssen sich die Videodaten-Leitungen *D0* bis *D7* sowie die Pixelclock-Leitung (rot). Die übrigen Leitungen der 27-poligen Video-Schnittstelle (grün) können direkt von der RGB-Kamera durchverbunden werden, weil diese für die Anbindung der Thermal-Kamera nicht benötigt werden (vgl. Anhang B.3).

Aufgrund dessen, dass die Thermal-Kamera als 8-Bit ITU-R BT.656 Schnittstelle ange-

bunden werden soll, werden lediglich die Datenleitungen $D0$ bis $D7$ sowie die Pixelclock Leitung benötigt (siehe dazu 2.2.1, ITU Mode). In Folge dessen muss zwischen diesen und den RGB-Kamerasignalen umgeschaltet werden können. Die übrigen Leitungen der 27-poligen Video-Schnittstelle können direkt mit der RGB-Kamera durchverbunden werden, weil diese für die Anbindung der Thermal-Kamera nicht benötigt werden. Neben dem 2:1 Multiplexer muss zusätzlich eine Pegelwandlung (Level-Shifter) vorgesehen werden, um die 3.3 V Ausgangspegel der Thermal-Kamera auf die 1.8 V Logikpegel des Gumstix zu transformieren. Im Folgenden soll die Umsetzung der in rot markierten Bereiche aus Abbildung 4.11 verdeutlicht werden.

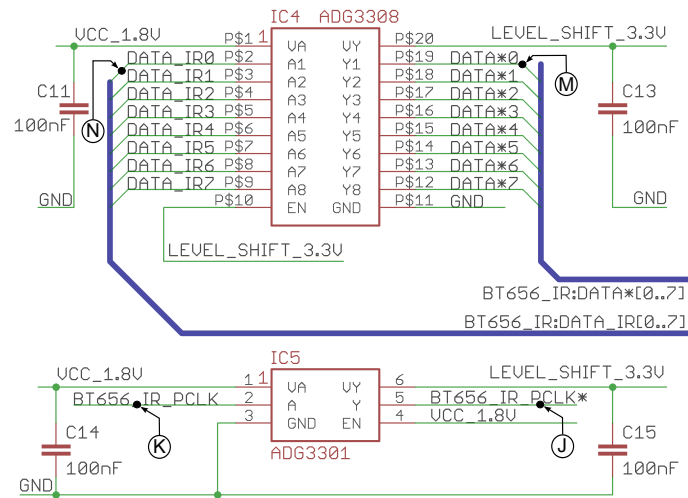


Abbildung 4.12: Level-Shifter zum anpassen des TAU640 CMOS Ausgangspegels an den 1.8 V Logikpegel des Gumstix. Die mit dem Sternchen (*) versehenen Signale kommen von der Kamera (3.3 V Seite), die ohne Sternchen führen zum Multiplexer (1.8 V Seite).

Als Level-Shifter kommt der schon aus Abbildung 4.6 bekannte ADG330x [4] zum Einsatz. Für die Videodatenleitungen als 8-Kanal und für die Pixelclock-Leitung als 1-Kanal Ausführung. Wichtig an dieser Stelle war unter anderem wieder die maximal zulässige Data Rate, mit der die Daten übertragen werden können. Diese ist abhängig von den zwei Spannungsebenen sowie der zu treibenden Kapazität am Ausgang. Garantiert wird eine Data Rate von 50 Mbps bei einer Transformation zwischen 3.3 V und 1.8 V. Das wiederum würde einem zu übertragenden Rechtecksignal von 25 MHz entsprechen. Für den nach ITU-R BT.656 spezifizierten Pixelclock mit 27 MHz wäre das rein theoretisch knapp zu wenig. Wie eben bereits erwähnt, werden die 50 Mbps im Zusammenhang mit allen anderen Bausteinparametern garantiert. Eine Funktion darüber hinaus ist aber

trotz alledem möglich und wurde auch bis zu 54 Mbps (27 MHz) im Vorfeld untersucht. Das Ergebnis war positiv. Das zu übertragende Rechtecksignal mit einer Frequenz von 27 MHz wurde sauber am Ausgang des Bausteins ausgegeben. Die Abbildung 4.12 zeigt den Aufbau auf dem Expansion-Board.

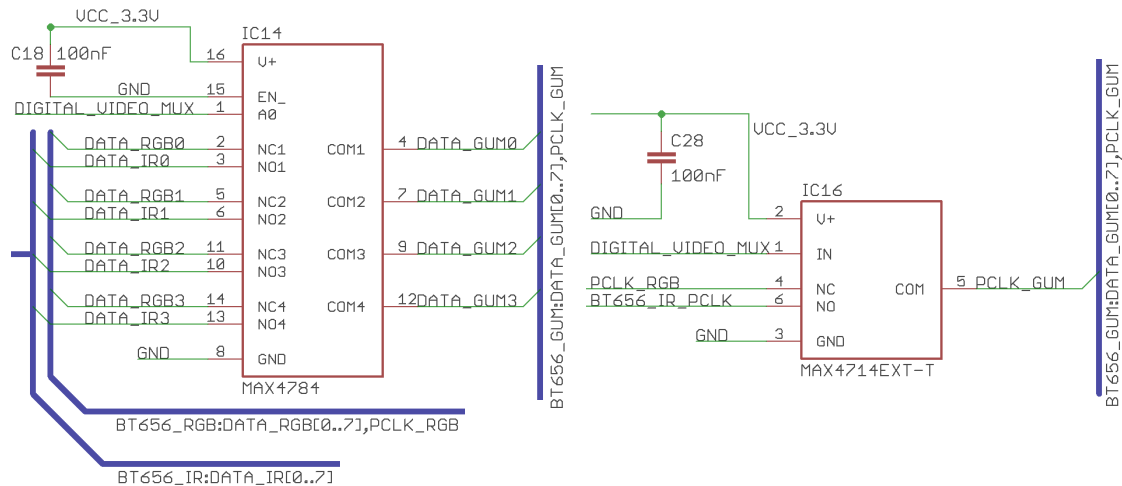


Abbildung 4.13: Multiplexen der Video Datenleitungen der IR- und RGB-Kamera (Links). Abgebildet ist lediglich die Datenleitung $D0$ bis $D3$. Für die übrigen vier Leitungen $D4$ bis $D7$ ist ein zweiter Multiplexer verbaut, der identisch zum IC14 aufgebaut ist. Single Multiplexer (IC16) für die Pixelclock Leitung (Rechts). **WICHTIG:** Bei der Inbetriebnahme wurde festgestellt, dass die Funktion mit diesem Aufbau nicht zufriedenstellend gewährleistet ist. Es wurden Änderungen am Schaltplan durchgeführt, die im Kapitel 5.2.5 erläutert sind!

Das Multiplexen der zwei Quellen auf den einen Videoeingang des Gumstix wird mit analogen Multiplexern vorgenommen. Die Wahl fiel auf zwei Bausteine vom Typ MAX4784 [22] für die acht Datenleitungen und einen Baustein vom Typ MAX4714 [21] für die Pixelclock-Leitung. Beide Derivate besitzen einen niedrigen Übergangswiderstand von lediglich 2Ω bzw. 2.5Ω bei einer Versorgungsspannung von 1.8 V . An den Ausgängen der IC's ist der Gumstix angeschlossen, so dass der fließende Strom und somit auch der Spannungsabfall an den Analogschaltern marginal ausfallen sollte. Ein weiterer Vorteil sind die IO-Eingänge, die 1.8 V CMOS Logik kompatibel sind. Für die Ansteuerung mit dem Gumstix sind somit keine Level-Shifter nötig. Die Abbildung 4.13 zeigt den geplanten Aufbau (IC15 für die Datenleitungen $D4$ bis $D7$ ist nicht abgebildet, ist aber identisch zu IC14 aufgebaut). Die Signalleitungen der RGB-Kamera sind jeweils an den

NC¹⁵ Eingängen und die der Thermal-Kamera an die NO¹⁶ Eingänge angeschlossen. Umgeschaltet werden kann über die Steuerleitung DIGITAL_VIDEO_MUX (GPIO147). Dadurch, dass \overline{EN} mit auf GND liegt, sind die zwei Bausteine MAX4784 dauerhaft aktiv.

4.1.6 Weitere Komponenten

4.1.6.1 LEDs / Taster

Für die schnelle und einfache Ein- und Ausgabe von Zuständen wurden je drei Taster und LEDs vorgesehen. Die Taster sind masseschaltend ausgeführt. Ein 10 k Ω Pull-Up Widerstand zieht den jeweiligen GPIO Port des Gumstix auf High, wenn der Taster nicht betätigt ist. Ein definierter Zustand wird somit immer garantiert. Der Widerstandswert sollte nicht zu klein gewählt werden, da über diesen im Ruhezustand (Taster nicht betätigt) ein ständiger Strom¹⁷ in den GPIO-Pin hineinfließt. Weil davon auszugehen ist, dass Berührungen am Taster vorkommen, wurde an jedem eine ESD Schutzdiode vorgesehen, wie sie auch schon bei der Spannungsversorgung (4.1.1) verbaut wurden. Die drei LEDs sind jeweils mit einem Vorwiderstand von 330 Ω an VCC (1.8 V) gelegt. Bei der Auswahl der zu verwendenden GPIOs wurde lediglich darauf geachtet, dass diese keinerlei andere Funktionen besitzen.

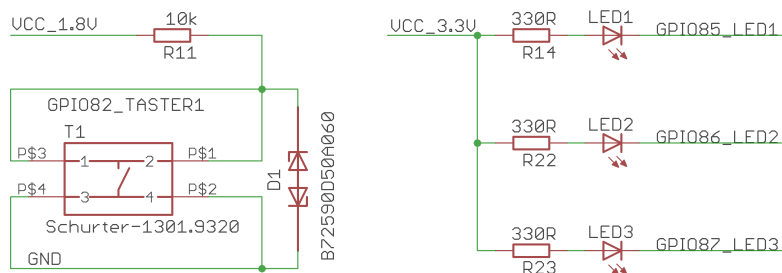


Abbildung 4.14: Benutzerschnittstelle über simple GPIOs in Form von LEDs und Taster. Gezeigt ist lediglich ein Taster von dreien.

4.1.6.2 Backup-Batterie

Die Gumstix Module besitzen einen Eingang, an dem eine Backup-Batterie angeschlossen werden kann, um wichtige Systeminformationen wie z.B. das Datum und die Uhrzeit

¹⁵normally closed

¹⁶normally open

¹⁷ $I = \frac{1.8V}{10k\Omega} = 180 \mu A$

auch bei getrennter Hauptstromversorgung zu erhalten. Handelt es sich bei der angeschlossenen Batterie um eine Wiederaufladbare, so besteht die Möglichkeit, die Backup-Batterie mit der Hauptstromversorgung zu laden ([37]; Chapter 7.2; Backup Battery Overview). Verwendet werden kann der Lithium 3V Akku ML-621S/ZTN [28] von Panasonic. Dabei handelt es sich um eine Knopfzelle mit einem Durchmesser von 6.8 mm und einer Stärke von 2.15 mm, für die passende SMD Halterungen für die Leiterplattenmontage verfügbar sind. Die Knopfzelle inkl. Halter wurde ebenfalls mit auf dem EB untergebracht und mit dem Gumstix Modul verbunden.



Abbildung 4.15: Backup-Batterie ML-621S/ZTN von Panasonic

4.1.6.3 USB OTG

Neben dem bereits in der Hardware vorhandenen USB Anschluss (Host) wurden die Signalleitungen für einen USB On-The-Go (OTG)¹⁸ auf dem EB bereitgestellt. Somit kommt man zu einem späteren Zeitpunkt an die Leitungen heran und kann mit wenig externer Hardware die USB-Schnittstelle in Betrieb nehmen. Abgreifen lassen sich die Signale wiederum mit vorgesehenen Lötunkten, in die aber auch ebenfalls eine 2x3-polige Stiftleiste verlötet werden kann. Die Pinbelegung des Anschlusses zeigt die folgende Abbildung .

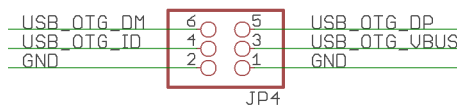


Abbildung 4.16: Pinbelegung der USB OTG Stiftleiste

4.1.6.4 Anschlussstecker

Der Anschlussstecker ist als 10-poliger Wannenstecker mit Verriegelung ausgeführt. Welche Signale und Leitungen über diesen nach Außen geführt werden zeigt die Abbildung 4.17. Die Spannungsversorgung des Gesamtsystems wird mit POWER_5.0V und

¹⁸Ermöglicht die Kommunikation zweier Geräte untereinander, die keine normale Host Funktionalität besitzen. Eines der Geräte übernimmt eine eingeschränkte Host Funktion, so dass z. B. auch zwei MP3-Player miteinander kommunizieren können, um Daten auszutauschen.

POWER_GND sichergestellt. Zur binären I/O Kommunikation dienen die drei Signale GPIO80_NUTZLASTHALTER_IO_1, GPIO81_NUTZLASTHALTER_IO_2 und TRIGGER, die alle als Eingänge sowie auch als Ausgänge konfiguriert werden können. Für die geforderte UART-Schnittstelle zwischen dem UAV und dem Messsystem sorgen UART_TX_NUTZLASTHALTER und UART_RX_NUTZLASTHALTER. Über A_VID_H und A_VID_L (GND) kann das analoge Videosignal der Thermal-Kamera an den Nutzlasthalter weitergereicht werden, so dass es zur Bodenstation übertragen werden kann. Bisher noch nicht vom Hersteller Gumstix in Hardware realisiert aber bereits als Anschluss äußerlich vorhanden, ist der analoge Videoausgang vom OMAP35xx Prozessor ([14], Connector J1 Pin 62/63 TV-Out1/2 - For future use). Trotz alledem wurde der Hardwarepin TV_OUT1 nach Außen geführt. Sollten in Zukunft überarbeitete Computer-On-Module mit TV-OUT Funktionalität auf den Markt kommen, so lassen sich dann Bilder oder Videos vom Gumstix über den Nutzlasthalter (Video-Eingänge) zur Bodenstation übertragen.

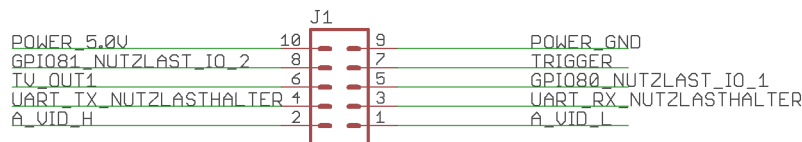


Abbildung 4.17: Pinbelegung des Anschlussteckers

4.2 Layout

Sowohl die in dieser Arbeit gezeigten Schaltpläne als auch das dazugehörige Layout wurde mit der EAGLE PCB Software vom Hersteller CadSoft Computer GmbH¹⁹ angefertigt. Die Version 5.11.0 stand als Professional Edition zur Verfügung, so dass keine Einschränkungen bzgl. Platinengröße und Layeranzahl auftraten.

Nach dem Entwickeln und Designen sollte die Leiterplatte beim PCB-Pool²⁰ gefertigt und anschließend bestückt werden. Aus diesem Grund wurde von Beginn an nach den Design Rules vom Fertiger gearbeitet, so dass bei der Bestellung keine Komplikationen auftreten konnten. Die Vorgaben der Layoutregeln, wie minimale Leiterbahnenabstände und -breiten, Via²¹ Größen etc., können beim Dienstleister unter Service/Spezifikationen nachgeschlagen werden [Stand 24. August 2011]. Ebenfalls sind alle Parameter im

¹⁹<http://www.cadsoft.de>

²⁰<http://www.pcb-pool.com>

²¹engl. Vertical Interconnect Access (Durchkontaktierungen um einzelne Layer miteinander zu verbinden)

entsprechenden EAGLE Projekt auf der beigefügten CD im jeweiligen Menü eingestellt. Gewisse Einschränkungen beim Lagenaufbau der Leiterplatte sind ebenfalls durch die Wahl des Fertigers gegeben. Aufgrund der Integrationsdichte von Bauteilen auf einer verhältnismäßig kleinen Leiterplatte wurde ein Multilayer Aufbau mit insgesamt 4 Lagen ausgewählt. Die Dicke der Einzellagen beträgt jeweils 35μ Kupfer. Um Layer untereinander zu verbinden sind ausschließlich durchgehende Vias herstellbar.

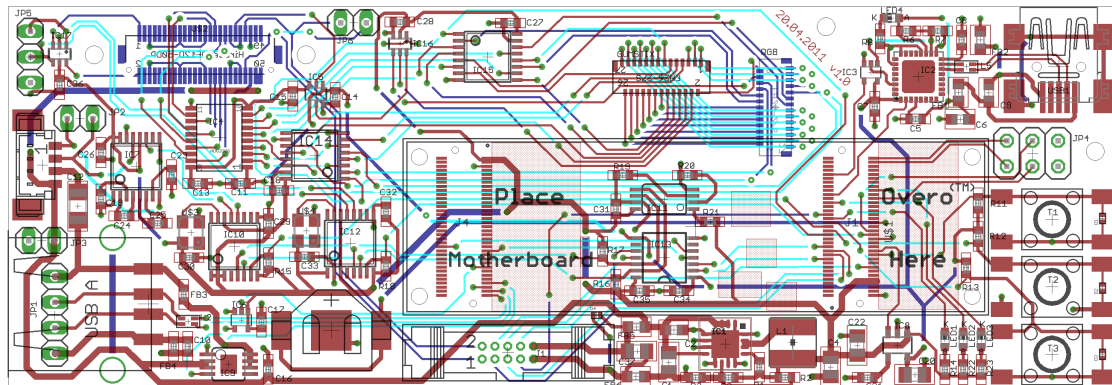


Abbildung 4.18: Layout des Expansion-Boards. Top-Layer (rot) ist die spätere Rückseite des Expansion-Boards und zeigt beim Einbau zum UAV. Der ganzflächige Masse-Layer (Innenlage 1) ist in der Abbildung nicht eingefärbt und somit nicht direkt zu sehen. Die Innenlage 2 (hellblau) dient ausschließlich als Signallayer. Der Bottom-Layer (dunkelblau) spiegelt die Vorderseite des Expansion-Boards wieder und zeigt im späteren Messaufbau in die Blickrichtung der Kameras.

Wie bei Multilayer-Leiterplatten üblich, wurde auch bei diesem Design, zumindest für die Masse, ein extra Supply-Layer realisiert (Layer 2). Für die Spannungsversorgung der Komponenten mit 1.8 V, 3.3 V und 5 V wurde kein eigener Layer vorgesehen. Die Versorgungsleitungen wurden in die drei Signal-Layer integriert. Beim Routen selbst wurde darauf Wert gelegt, grundlegende Regeln einzuhalten. Es wurde durchweg versucht eine einfache und möglichst kurze Leiterbahnführung zu verwirklichen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Richtungsänderungen von Leiterbahnen unter einem max. Winkel von 45° erfolgen. Bei höheren Frequenzen, wie sie z. B. bei der digitalen Videoschnittstelle vorkommen, wurden so wenig wie möglich Vias eingesetzt, um Signalbeeinflussungen zu vermeiden. Bei der Kontaktierung von Bauteil-Pads wurde versucht die Leiterbahn möglichst stumpf bzw. im rechten Winkel zu routen. T-Abzweigungen bei Leiterbahnen konnten größtenteils vermieden werden. Ansonsten stellt die vorliegende Schaltung keine all zu hohen Ansprüche an ein Layout. Lediglich beim Schaltregler TPS62111 wurde

darauf geachtet, dass die Induktivität $L1$ und Kapazität $C4$ relativ dicht beim Regler platziert sind. Wird dies nicht beachtet, so haben Schaltregler beim Anlegen der Eingangsspannung häufig das Problem nicht einzuschwingen.

4.3 Aufbau

Neben den Schaltplänen und dem Layout soll an dieser Stelle das fertige Expansion-Board vorgestellt werden. Der im Vorfeld geplante mechanische Aufbau wurde bereits im Kapitel 3.2 *Größe und geometrische Anordnung* vorgestellt. Der daraus resultierende Aufbau bzw. die Strukturierung des Expansion-Boards sowie die Anordnung der Schnittstellen nach außen wird von den zwei Abbildungen 4.19 und 4.20 wiedergegeben:

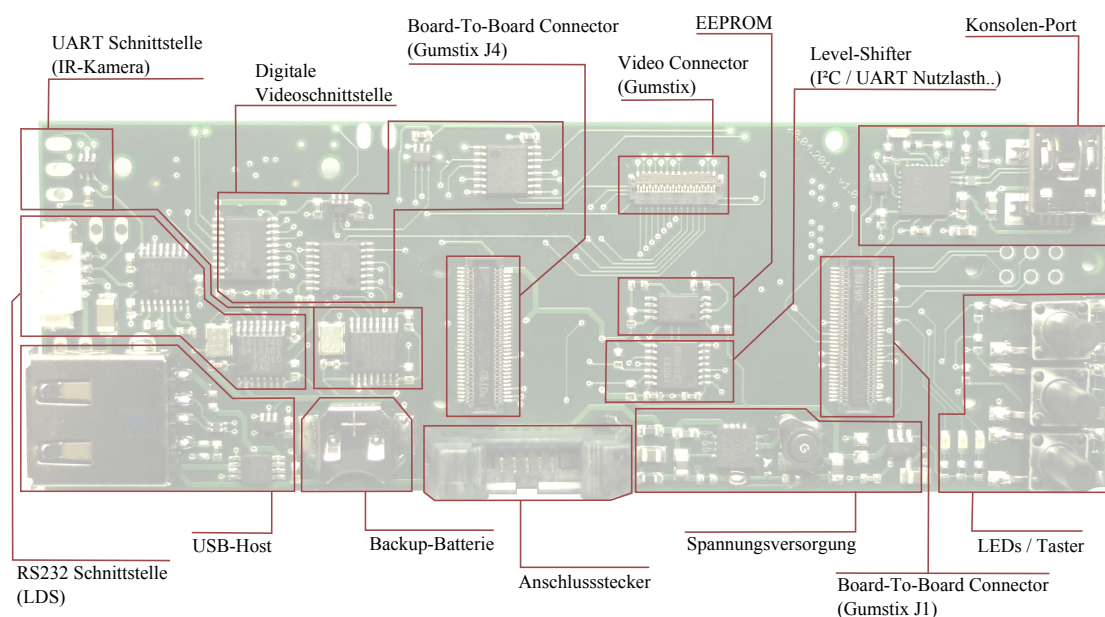


Abbildung 4.19: Platinenübersicht der Rückseite. Der Anschlusstecker sowie die Benutzerschnittstelle (LEDs / Taster) sind nach hinten herausgeführt. Der Konsolenport Anschluss ist nach oben gerichtet ausgelegt, so dass ein problemloses Anstecken eines USB-Kabels auch während des Einbaus im UAV gewährleistet ist. Die USB Host Buchse ist seitlich zu kontaktieren. Diese Einbauposition ist nicht optimal gelöst, lies sich aber aufgrund des beschränkten Platzes nicht besser unterbringen. Sollte die USB-Schnittstelle im Flugbetrieb benötigt werden (z. B. Framegrabber), so ist der Anschluss des USB-Gerätes per angelötetem Kabel (Buchse abgelötet) ohnehin wahrscheinlicher.

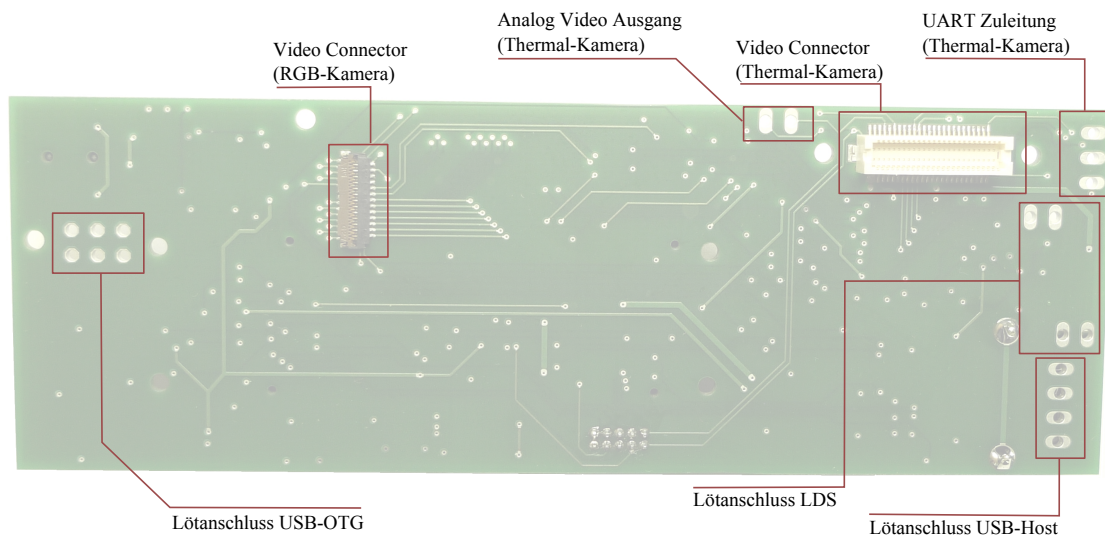


Abbildung 4.20: Platinenübersicht der Vorderseite. Zu erkennen sind die zwei Video Steckverbindungen zum Anschluss der RGB- sowie Thermal-Kamera.

Für einen noch besseren Gesamteindruck des Zusammenspiels der Einzelkomponenten sorgt die Abbildung 4.21, die angelehnt ist an das CAD-Modell aus der Abbildung 3.1.

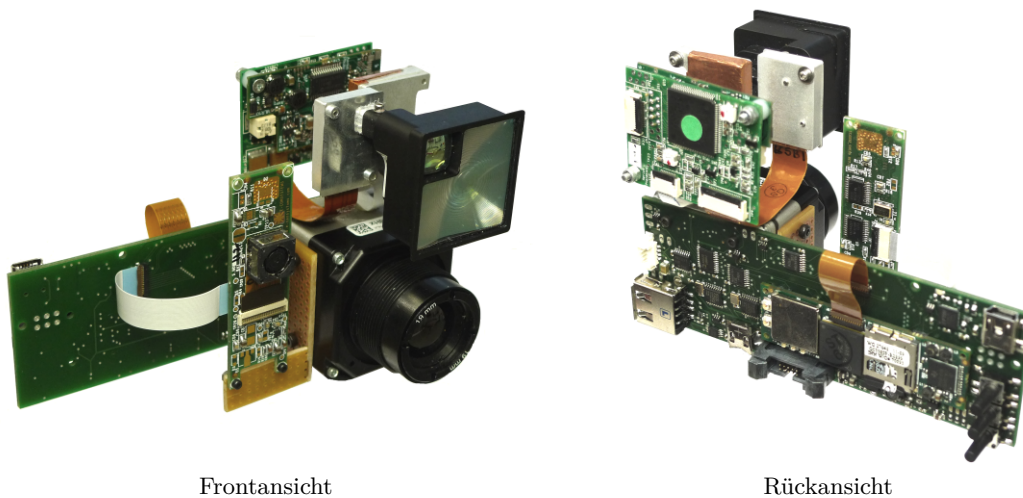


Abbildung 4.21: Realer Gesamtaufbau des Messsystems.

5 Inbetriebnahme und Systemtest

Im nun folgenden Kapitel wird auf die Inbetriebnahme der entwickelten Hardware eingegangen. Zuerst werden die Messinstrumente und Geräte vorgestellt, die für die Messungen und den Systemtest verwendet wurden. Die Vorgehensweise beim Inbetriebnehmen und Testen der Hardware, die Ergebnisse und eventuelle Änderungen am System folgen im Anschluss. Dabei ist das EB in die aus dem Kapitel *Hardwareaufbau* bekannten Einzelmodule zerlegt, so dass eine Schritt für Schritt Betrachtung vorgenommen werden kann.

5.1 Messinstrumente

Um qualitative Aussagen über die Funktion des EBs tätigen zu können, wurden eine Vielzahl von Messungen durchgeführt. Aufgrund dessen, dass fast alle Komponenten in irgendeinem Zusammenhang mit dem Computer-On-Modul stehen und demzufolge auch mit einem Softwareteil agieren, ist es sehr schwierig die Funktion bis ins letzte Detail zu überprüfen. Soll dieses geschehen, so muss für jeden Test auch die entsprechende Software vorhanden sein. Da dies aber nicht der Fall war und im Rahmen dieser Arbeit es auch nicht möglich war die entsprechend benötigte Software zu erstellen, mussten andere Methoden entwickelt werden, um dennoch qualitative Ergebnisse liefern zu können. Im Folgenden werden die Geräte vorgestellt, die im Rahmen der Inbetriebnahme verwendet wurden.

Oszilloskop

Um Spannungs- und Signalverläufe zu messen, stand ein Tektronik TDS 2024B zur Verfügung. Dabei handelt es sich um ein 200 MHz digitales 4-Kanal Oszilloskop. Zur Messung der hochfrequenten Videosignale wurde ein Tastkopf mit einem Vorteiler von 10:1 verwendet. Bei den zu messenden Frequenzen war ein Vorteiler unumgänglich, weil ansonsten das Messkabel- und die Oszilloskop-Eingangskapazität einen zu starken Einfluss auf das zu messende Signal gehabt hätten. Abgeglichen wurde der Messkopf mit der vom Oszilloskop bereitgestellten Rechteckspannung. Um zusätzlich Messfehlern vorzubeugen, wurde das Massekabel des Tastkopfs entfernt und ein Eigenbau vorgesehen

(Abbildung 5.2). Dabei handelt es sich um ein kurzes Stück flexible Koaxialleitung, an dessen einem Ende eine Vorrichtung angelötet wurde, in der die Tastkopfspitze eingesteckt werden kann. Bei allen Messungen wurde das andere Kabelende direkt auf das EB aufgelötet. Der entscheidende Vorteil hierbei ist, dass die Signalmasse (ebenfalls angelötet) in unmittelbarer Nähe zum Messpunkt abgegriffen werden kann und parallel zum Signal mitgeführt wird. Mit dem original Massekabel ist dies nicht möglich. Beim direkten Vergleich der zwei Messaufbauten zeigte sich deutlich, dass sich mit dem original Massekabel parasitäre Effekte einschleichen, die das Messsignal negativ beeinflussen.

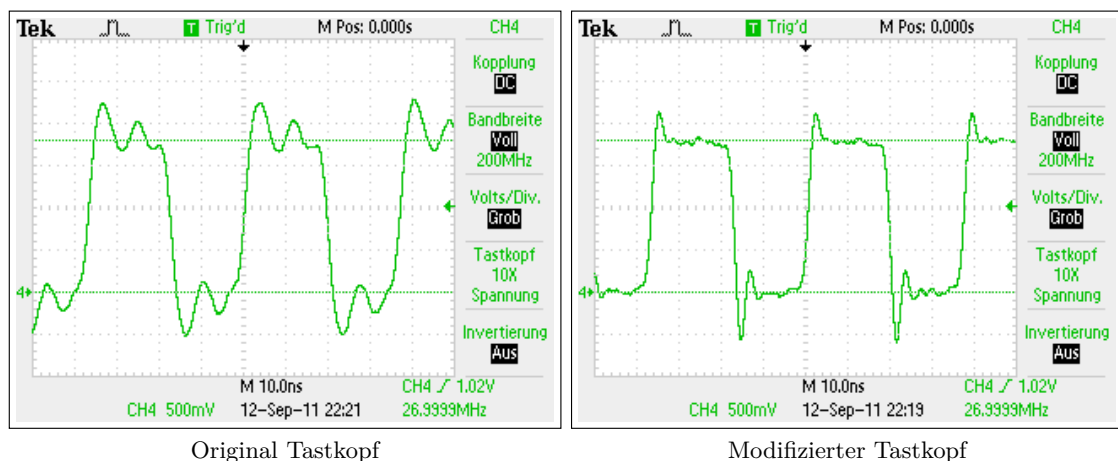


Abbildung 5.1: Die zwei Oszilloskopbilder zeigten den Thermal-Kamera Takt mit und ohne Tastkopf-Modifikation.



Abbildung 5.2: Tastkopf-Modifikation. Ermöglicht das Abgreifen der Masse in unmittelbarer Nähe zum Signalmesspunkt. Zusätzlich wird die Masse dicht und parallel zur Messleitung mitgeführt.

Logik Analyser

Zum Analysieren von I²C, UART und RS232 Nachrichten wurde ein USB Logik Analyser eingesetzt. Der USB-LOGI-250 vom Hersteller Deditec hat eine max. Samplerate von 250 MSamples/sec und kann demnach auf 36 Kanälen Signale bis zu 250 MHz abtasten und darstellen. Die Schwellwerte der Logikpegel liegen bei $\leq 0.8\text{ V}$ für LOW und $\geq 2\text{ V}$ für HIGH.

USB - I²C Interface

Um die I²C Komponenten und die anschließende Kette von Elektronik auf dem Board verifizieren zu können, kam ein USB-I²C Interface zum Einsatz. Mit diesem USB-Interface kann auf einfache Weise ein Bussystem aufgebaut werden. Das Gerät fungiert dabei als Master. Über Stiftleisten lassen sich bis zu drei I²C-Slaves direkt anschließen. Mit einem einfachen Terminalprogramm lassen sich über einen angeschlossenen Computer beliebige I²C-Nachrichten erzeugen und auf dem Bus ausgeben. Weil für den Gumstix noch keine lauffähige Software implementiert ist, mit der man I²C-Nachrichten verschicken kann, sollen mit Hilfe dieses Interfaces Nachrichten erzeugt werden, um sie von außen auf das Expansion-Board einzuprägen. Über diesen Weg kann die Weiterverarbeitung der I²C-Nachrichten auf dem Board überprüft werden, so dass eine Funktion zum späteren Zeitpunkt, mit dem Gumstix als Master, gewährleistet werden kann. Die Logikpegel des USB-I²C Interfaces liegen bei 5 V.

Im Handbuch [10] zum Interface wird empfohlen das Terminalprogramm HTerm¹ zu nutzen. Die einzustellenden Kommunikationsparameter sind ebenfalls im Handbuch, Kapitel 3, nachzulesen. Bevor auf die Befehle zur I²C-Nachrichtenerzeugung eingegangen wird, soll kurz der Aufbau einer Nachricht erläutert werden ([30], Chapter 9, Formats with 7-bit addresses).

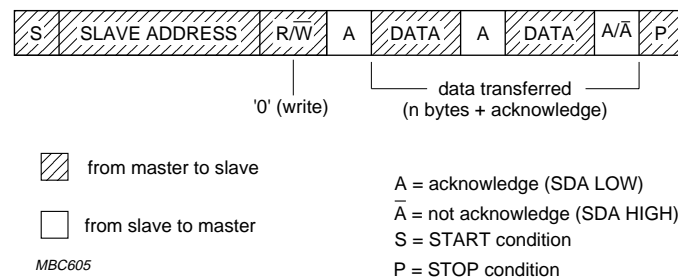


Abbildung 5.3: I²C-Nachricht mit 7-Bit Slave Adresse. Daten werden ausschließlich vom Master zum Slave übertragen. (Quelle: [30], Fig. 11)

Nach einer Startbedingung² folgt das erste Byte zusammengesetzt aus 7-Bit Slave-Adresse und einer „0“ (write). Der adressierte Slave antwortet mit einer Quittierung, woraufhin der Master sein erstes Datenbyte sendet. Das Senden von Daten kann sich beliebig wiederholen, bis schließlich vom Master das Ende der Übertragung mit der

¹Kostenfrei und für kommerzielle Nutzung geeignet; <http://www.der-hammer.info/terminal/>

²Fallende Flanke auf der SDA Leitung während die SCL Leitung HIGH-Pegel führt.

Stoppbedingung³ signalisiert wird.

Um die in der Abbildung 5.3 gezeigte Nachricht mit dem USB-I²C Interface zu erzeugen, muss im Terminalprogramm beispielhaft folgende Zeichenkette eingegeben werden:

S 40 FF 58 P

Die Zeichen repräsentieren in diesem Fall:

[I²C Start][Write-Adr.:0x40][Daten:0xFF][Daten:0x58][Stopp]

Das Interface erzeugt demnach die Startbedingung und gibt im direkten Anschluss die Slave-Adresse, mit dem Zusatz auf dem Slave schreiben zu wollen, auf dem Bus aus. Kommen die jeweiligen Quittierungen, so legt das Interface nacheinander die Daten 0xFF sowie 0x58 auf den Bus. Zum Schluss wird das Ende der Übertragung mit der Stoppbedingung signalisiert. Alle weiteren Befehle und Möglichkeiten, die das Interface bietet, können im Herstellerhandbuch nachgelesen werden. Die Zeichenketten, die für den Systemtest der einzelnen Komponenten genutzt wurden, sind im jeweiligen Kapitel aufgeführt.

Labornetzteil

Für die Erstinbetriebnahme kam ein Labornetzteil, das Toellner TOE 8852, zum Einsatz.

5.2 Module

Die Inbetriebnahme der einzelnen Module soll an dieser Stelle Schritt für Schritt vorgenommen werden und wird in den folgenden Unterkapiteln beschrieben. Dabei wird auf die Vorgehensweise der Inbetriebnahme, die Ergebnisse und die daraus abzuleitenden Änderungen am Schaltplan oder Layout eingegangen. Von allen Messungen, die am System durchgeführt wurden, ist der jeweilige Messpunkt in den Schaltplänen aus Kapitel 4 eingezeichnet. Auf diesem Weg lassen sich die Ergebnisse besser zuordnen und nachvollziehen.

5.2.1 Spannungsversorgung

Bei der Erstinbetriebnahme des Expansion-Boards wurde das Augenmerk einzig und allein auf die Spannungsversorgung gerichtet. Dabei war der Gumstix, die Thermal- und RGB-Kamera sowie der Laserdistanzsensor nicht mit dem EB verbunden. Als Spannungsquelle diente das Labornetzteil (Eingestellt auf 5 V), welches das EB über den

³Steigende Flanke auf der SDA Leitung während die SCL Leitung HIGH-Pegel führt.

10-poligen Anschlussstecker mit Strom versorgte. Über die jeweiligen Ausgangsspannungen, der zwei verbauten Spannungswandler, sollte die Funktion festgestellt werden.

(TPS62111) $5\text{ V} \rightarrow 3.3\text{ V}$

Die erwartete Ausgangsspannung war nicht gegeben. Unberücksichtigt blieb, dass die Pufferkapazität $C22$ am Eingang des Spannungsreglers MIC5247-1.8 (vgl. Abbildung 4.2) in unmittelbarer Nähe sowie parallel zum Kondensator $C4$ des Schaltreglers liegt. Demnach ergab sich eine drastische Kapazitätserhöhung. Das hatte zur Folge, dass der Schaltregler nicht eingeschwungen ist. Ein Entfernen des Kondensators $C22$ schaffte Abhilfe. Die Spannungswandlung auf gewünschten 3.3 V arbeitete ordnungsgemäß, es wurde eine Ausgangsspannung von 3.306 V gemessen (Messpunkt **A** Abb. 4.1). Ein weiteres Problem, welches erst später bemerkt wurde, war die Bauhöhe der Spule $L1$. Diese liegt, durchs Layout festgelegt, direkt vor dem SD-Kartenslot des Gumstix und verhinderte, dass die Karte entfernt werden konnte. Ein Austauschen der Spule mit ähnlichen Parametern aber anderen Abmessungen konnte dieses Problem beheben (Neu: Würth Elektronik 744 510 68; $6.8\text{ }\mu\text{H}$; $0.065\text{ }\Omega$; 1.2 A). Das Pad-Layout der neu verbauten Spule ist allerdings ein anderes, so dass im zukünftigen Layout Anpassungen vorgenommen werden müssen.

(MIC5247-1.8) $3.3\text{ V} \rightarrow 1.8\text{ V}$

Damit die 1.8 V Ausgangsspannung gemessen werden konnte, musste zuallererst der Gumstix auf das EB aufgesteckt werden. Die System-Enable-Leitung (SYS_EN), ausgehend vom Gumstix, wird benötigt, damit der MIC5247-1.8 arbeitet. Die Ausgangsspannung der Wandlung konnte mit 1.792 V gemessen werden (Messpunkt **B** Abb. 4.2).

5.2.2 Konsolenport

Um die Hardware des Konsolenports auf Funktion zu testen, wurde lediglich die Kommunikationsfunktionalität zwischen dem Gumstix und dem angeschlossenen PC überprüft. Sobald die USB-Verbindung zustande gekommen ist, leuchtet die *LED4* und signalisiert, dass die Elektronik des Konsolenports mit Spannung versorgt ist. Nachdem für den virtuellen COM-Port im Terminalprogramm die Kommunikationsparameter⁴ eingestellt sind und anschließend das EB mit Strom versorgt wird, kann im Terminalfenster der Bootvorgang des Gumstixs beobachtet werden. Weil die Kommunikation bidirektional gegeben ist, kann damit die Aussage getroffen werden, dass die vorliegende Hardware ordnungsgemäß funktioniert.

⁴Baud Rate: 115200; Data Bits: 8; Parity: None; Stop Bits: 1; Flow Control: None

5.2.3 USB Host

Um den USB Host Port zu testen, wurde auf Komponenten aus dem ehemalige Messaufbau zurückgegriffen. Der Aufbau sah folgendermaßen aus: An den USB-Anschluss des EB wurde der Framegrabber LogiLink VG001 aus dem alten Aufbau angeschlossen. Das analoge Videosignal der Thermal-Kamera (Abgriff über die zwei Lötunkte; siehe Abb. 4.20) wurde an den Eingang des Framegrabbers gelegt. Über die lauffähige Software war es mit diesem Aufbau möglich Bilder der Kamera auf dem Gumstix aufzunehmen.

Das Ein- bzw. Ausschalten⁵ der angeschlossenen USB-Geräte konnte mit dem „User GPIO Driver“ (Erläuterung im Abschnitt LEDs / Taster 5.2.6) überprüft und ebenfalls als lauffähig angesehen werden. In Angesicht dieser Tatsache kann die Funktionsfähigkeit der USB-Schnittstelle als gegeben betrachtet werden.

5.2.4 I²C Komponenten

Wie bereits im Kapitel *Messinstrumente* Abschnitt *USB-I²C Interface* erläutert, muss das Verifizieren der I²C Komponenten über Umwege erfolgen. Dabei wurde das Interface mit dem EB verbunden und übernahm anstelle des Gumstix die Masterfunktion des Busses. Der Anschluss der vier Signale erfolgte nach der Referenzierung **C** in Abbildung 4.6. Um die elektrische Übertragung einer Nachricht zu überprüfen, wurden sowohl vor als auch hinter dem Level-Shifter (*IC13*) die Signalverläufe von der Takt- sowie Datenleitung mit dem Oszilloskop betrachtet. Nach dem Absenden einer I²C-Nachricht war sofort ersichtlich, dass der Level-Shifter auf der 3.3 V Busseite den High-Pegel einer Leitung nicht gegen Masse ziehen konnte. Ein erneuter Blick in das Datenblatt zeigte, dass die Bausteinserie ADG330x lediglich CMOS kompatible Lasten treiben kann. Die Last, bestehend aus den zwei I²C-UART Bausteinen, dem EEPROM und den jeweiligen Pull-Up Widerständen *R16* und *R17*, kann von dem Level-Shifter somit nicht getrieben werden. Diese Tatsache wurde bei der Auslegung und Dimensionierung der Schaltung übersehen und führt dazu, dass die gesamte I²C-Kette nicht funktioniert.

Um das Problem zu lösen, wurde nach ausgiebiger Recherche anstelle des ADG3304 ein explizit auf diesen Anwendungsfall zugeschnittener Baustein untersucht. Der PCA9517 [24] ist ein Level-Shifter I²C-Bus Repeater, der die Brücke zwischen zwei Bussystemen mit unterschiedlichen Logikpegeln bilden kann. Dabei fungiert er zusätzlich als Verstärker. Damit die restliche I²C-Kette auf dem EB trotzdem untersucht werden konnte, wurde das externe USB-I²C Interface durch den oben genannten Baustein ergänzt (Ab-

⁵Systembefehle: `gpio output 168 1` (Einschalten); `gpio output 168 0` (Ausschalten)

bildung 5.4). Der ADG3304 wurde vom EB entfernt und die Ausgänge der externen Schaltung auf die mit **D** beschrifteten Punkte angeschlossen (Abb. 4.6).

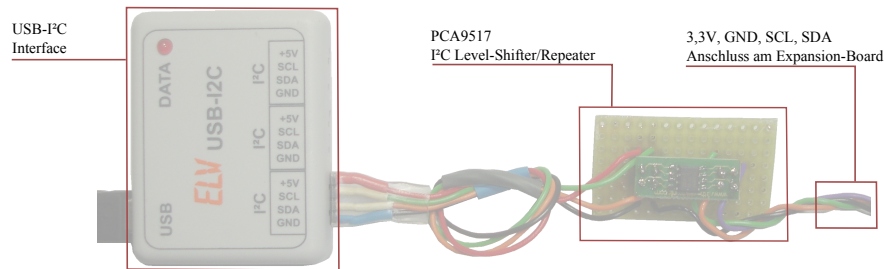


Abbildung 5.4: USB-I²C Interface inkl. dem Level-Shifter/Repeater Baustein PCA9517. Mit dieser externen Hardware konnten die drei I²C Einheiten auf dem EB validiert werden. Der Anschluss erfolgte an den mit **D** beschrifteten Punkten in Abbildung 4.6.

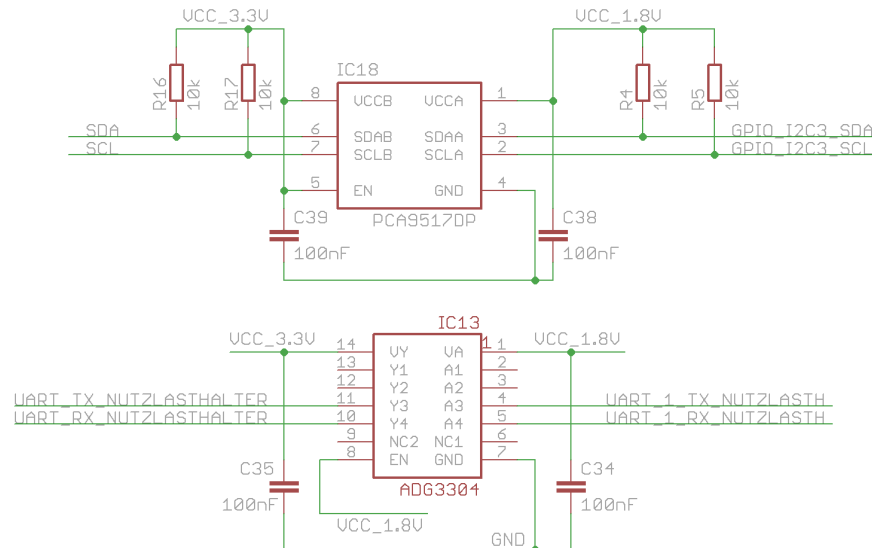


Abbildung 5.5: PCA9517 als neuer I²C Level-Shifter/Repeater zwischen den zwei Logiksystemen 1.8 V und 3.3 V. Der ADG3304 übernimmt letztendlich nur noch die Pegelwandlung für die Nutzlasthalter UART.

Mit diesem Aufbau war es schlussendlich möglich den I²C-Bus auf dem EB in Betrieb zu nehmen. Der Funktionstest der drei Slaves ist in den folgenden Unterkapiteln beschrieben.

5.2.4.1 EEPROM

Um den Schreib- und Lesevorgang des EEPROMs zu überprüfen, wurde die erste Speicherstelle des Bausteins mit einem Wert (0x55) beschrieben. Im Anschluss folgte ein Auslesen derselben, um zu bestätigen, dass der Schreibzugriff erfolgreich war. Die I²C Sequenz, die benötigt wird, um ein Byte zu schreiben, ist im Datenblatt des EEPROMs [5] unter der Abbildung 8-2 verdeutlicht. Der Lesezugriff eines einzigen Bytes zeigt die Abbildung 8-5. Die entsprechenden Signale der Daten und Taktleitung, die mit dem Logik-Analyser gemessen wurden, sind den jeweiligen I²C-Befehlen beigelegt und können mit den Datenblatt Sequenzen abgeglichen werden. Die genutzte Zeichenkette für das USB-I²C Interface für den Schreibvorgang lautet:

S A2 00 55 P

[I²C Start][Write-Adr.:0xA2][Word-Adr.:0x00][Daten:0x55][Stopp]



Mit diesem Befehl wird der Wert 0x55 an die erste Speicherstelle mit der Adresse 0x00 geschrieben. 0xA2 ist die Bausteinadresse des EEPROMs, wie sie bereits im Kapitel 4.1.4 erläutert wurde. Ob das Schreiben erfolgreich war, lässt sich mit der folgenden Zeichenkette verifizieren:

S A2 00 R01 P

[I²C Start][Write-Adr.:0xA2][Word-Adr.:0x00][1 Datenbyte lesen][Stopp]



Dabei ist **R01** ein Sonderkommando des USB-I²C Interfaces. Mit diesem Befehl werden aus dem zuletzt adressiertem Slave die angegebene Anzahl von Bytes (in diesem konkreten Fall ein Byte) gelesen. Der Rückgabewert war wie zu erwarten: 0x55. Die Funktion des EEPROMs, sowie die Kommunikation über den I²C-Bus Repeater, kann demnach als gegeben betrachtet werden.

5.2.4.2 RS232 Schnittstelle (LDS)

Bevor der Baustein SC16IS740 aus eingehenden I²C-Sequenzen UART-Nachrichten erzeugt, müssen die entsprechenden Konfigurationsregister für den Anwendungsfall passend eingestellt werden. Die dafür notwendigen Parametrierungen und das Vorgehen ist

im Anhang, Kapitel D.4, erläutert. Die Funktionskontrolle der gesamten Kommunikationskette wurde vorgenommen, indem die zwei RS232-Leitungen (Rx und Tx) an den zwei Lötunkten *JP2* miteinander verbunden wurden. Der Laserdistanzsensor war zu diesem Zeitpunkt nicht an dem EB angeschlossen. Eine Nachricht, ausgehend vom USB-I²C Interface, wurde somit am Ende der Kette auf direktem Wege auf der Empfangsleitung zurückgegeben. Kommt die gesendete Nachricht unverfälscht zurück, kann davon ausgegangen werden, dass die Schaltung funktioniert. Über das USB-I²C Interface wurde das Datenbyte 0xAA in das Sende-FIFO des Bausteins SC16IS740 geschrieben⁶. Die daraus resultierenden Signalverläufe auf den beteiligten Leitungen wurden gemessen und sind in der Abbildung 5.6 gezeigt. Das vom SC16IS740 empfangene Byte konnte ausgelesen werden⁷, so dass die gesamte Kette als funktionierend angesehen werden kann.

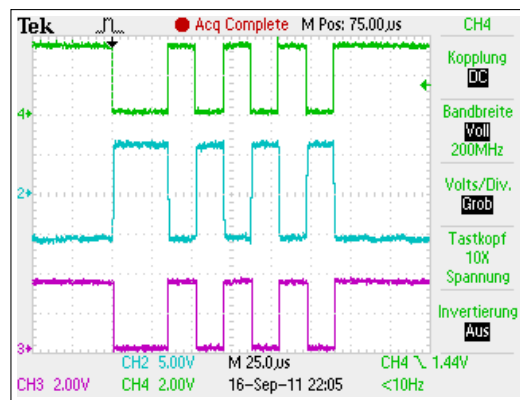


Abbildung 5.6: UART und RS232 Leitung (Laserdistanzsensor). Bei der Messung war die RS232 Tx- mit der Rx-Leitung an der Stiftleiste *JP2* gebrückt (Abbildung 4.8). Somit konnte mit einfachen Mitteln die Kommunikationskette überprüft werden, indem eine gesendete Nachricht direkt wieder beim Sender ankommt. Grün: Signalverlauf der UART Rx-Leitung am SC16IS740 Ausgang nach dem Senden des Datenbytes 0xAA (Messpunkt **E**). Blau: Signalverlauf der RS232 Tx- und Rx-Leitung (Messpunkt **F**). Lila: Rücklaufendes UART Rx-Signal am SC16IS740 Eingang (Messpunkt **G**).

5.2.4.3 UART Schnittstelle (IR-Kamera)

Um den I²C-UART Baustein (*IC12*) für die Kommunikationskette der Thermal-Kamera in Betrieb nehmen zu können, mussten an dieser Stelle ebenfalls die entsprechenden Kon-

⁶S 90 00 AA P

⁷S 90 00 R01 P

figurationsregister eingestellt werden. Das Vorgehen ist bereits aus dem Anhangskapitel D.4 bekannt. Die Abbildung 5.7 zeigt die generierte UART-Nachricht des SC16IS740, wenn über den I²C-Bus das Datenbyte 0xAA in das Schreib-FIFO geschrieben wird. Die Umsetzung in das UART-Format und die anschließende Invertierung des Signals funktionieren einwandfrei.

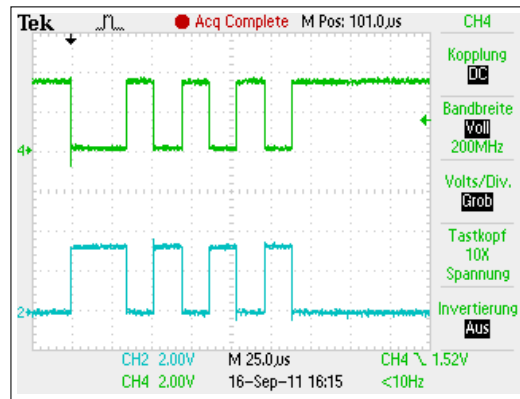


Abbildung 5.7: Tx-Leitung der UART-Schnittstelle (Thermal-Kamera). Grün: Signalverlauf am SC16IS740 Ausgang nach dem Senden des Datenbytes 0xAA (Messpunkt **H** Abb. 4.10). Blau: Signalverlauf nach der Invertierung (Messpunkt **I** Abb. 4.10). Die Rx-Signale sind identisch und wurden folglich nicht extra abgebildet.

Um ebenfalls die Rx-Leitung (Thermalkamera → Gumstix) der Kommunikationskette zu validieren, wurde eine Sequenz⁸ zur Thermal-Kamera gesendet, auf die die Kamera mit der aktuellen Firmware- und Software-Version antwortet. Der Inhalt der übertragenen Daten ist an dieser Stelle irrelevant. Die Abbildung 5.8 zeigt das letzte zur Kamera gesendete Datenbyte der gesamten Sequenz und veranschaulicht, wie anschließend die Versionsinformationen von der Kamera zurückgegeben werden (Rx bzw. Rx inv.). Dabei ist wiederum nur das erste übertragene Byte abgebildet. Ein anschließendes Auslesen des Empfangs-FIFO zeigte, dass die von der Kamera zurückgegebenen Daten richtig empfangen wurden⁹. Die Kommunikation mit der Thermal-Kamera ist demnach gegeben.

⁸Die Sequenz bestand aus acht Datenbytes die sequenziell zur Kamera übertragen wurden: 0x6E, 0x00, 0x00, 0x05, 0x00, 0x00, 0x34, 0x4B, 0x00 und 0x00. Das Format einer seriellen UART-Nachricht kann im Datenblatt der Kamera unter dem Kapitel B1 nachgelesen werden [11].

⁹I²C-Befehl (Zeichenkette) die zum Auslesen des Bausteins genutzt wurde lautet: S 92 00 R64 P



Abbildung 5.8: Ausschnitt der Thermal-Kamera Kommunikation. Über den I²C-Bus wird das letzte Byte (0x00) einer Sequenz in das Schreib-FIFO des SC16IS740 geschrieben (oben). Darauf hin sendet der Baustein die entsprechend generierte UART-Nachricht (mitte). Als Antwort gibt die Kamera Versionsinformationen zurück (unten).

5.2.5 Digitale Videoschnittstelle (RGB-/IR Kamera)

Die digitale Videoschnittstelle wurde messtechnisch im Ganzen untersucht und auf Funktion getestet. Weil bereits ein Treiber für die RGB-Kamera vorhanden war, konnte diese ebenso einem praktischen Test, in Form einer Bildaufnahme, unterzogen werden. Begonnen wurde die Überprüfung mit dem Messen der Signalverläufe entlang der einzelnen Takt- und Datenleitungen. Ist die ITU-R BT.656 Schnittstelle der Thermal-Kamera aktiviert, so sendet diese kontinuierlich den Pixeltakt sowie den parallelen Datenstrom aus. War das gemessene Signal (Taktleitung, 27 MHz) vor dem Level-Shifter wie erwünscht, zeigte eine Probemessung hinter der Pegelwandlung ein nicht gewolltes Ergebnis (Abbildung 5.9).

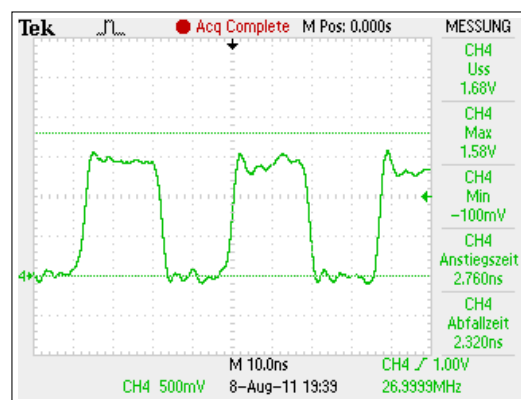


Abbildung 5.9: Signalverlauf der Taktleitung mit anschließendem analogen Multiplexer als zu treibende Last. Deutlich zu vernehmen ist, dass die Treiberleistung des Level-Shifters nicht ausreicht. Der High-Pegel von 1.8 V wird nicht erreicht.

Der Signalverlauf war noch gegeben, allerdings lag der High-Pegel nicht bei den angestrebten 1.8 V. Eine sichere Detektion einer logischen „1“ ist somit nicht mehr ge-

geben¹⁰. Auch hierbei ist die Ursache die mangelnde Treiberfähigkeit der eingesetzten Pegelwandler, wie es bereits im Kapitel 5.2.4 erläutert wurde. Die Last, im konkreten Fall der Analogmultiplexer mit anschließendem Gumstix-GPIO-Eingang, ist für die lediglich CMOS-kompatiblen Bausteine zu niederohmig.

Nach erneuter Recherche konnte ein digitaler 2:1 Multiplexer (SN74LVC257A [33]) gefunden werden, dessen Logikeingänge keinerlei Probleme für den vorgeschalteten Level-Shifter darstellen sollten. Die Pin-Kompatibilität zur analog Version war gegeben, so dass ein Austauschen der ICs 14 und 15 (Abb. 4.13) gegen die Digitalen eins zu eins möglich war. Lediglich bei dem 1-fach Multiplexer (Taktleitung) war etwas größerer Aufwand nötig. Letztendlich konnte die Schaltung umgesetzt werden, wie sie in der Abbildung 5.10 gezeigt ist.

Nach der Hardwareänderung wurden abermals Messungen auf den Takt- sowie Datenleitungen durchgeführt. Wie die nachfolgenden Messergebnisse zeigen, konnte durch den Austausch der ICs eine deutlich bessere Übertragungsqualität der Signale erreicht werden. Zur besseren Orientierung ist in den Oszilloskopbildern der High- und Low-Pegel mit einer horizontalen Linie gekennzeichnet. Zusätzlich geben die blauen Spannungssegmente den Detektionsbereich des OMAP35xx Prozessors für logisch „0“ bzw. „1“ wieder.

Was alle Oszilloskopmessungen aus den Abbildungen 5.11 bis 5.14 gemeinsam zeigen, ist ein mehr oder weniger stark ausgeprägtes Überspringen nach einem Flankenwechsel. Die Ursache der Überspringer lässt sich wie folgt erklären: Bei der Übertragung von Signalen auf einem Leiter ist nicht unbedingt die zu übertragende Frequenz der limitierende Faktor, sondern viel mehr die sprunghafte Stromänderung, die bei jedem Flankenwechsel auf der Leitung auftreten. Je steilflankiger geschaltet wird, desto mehr Oberwellen sind im übertragenden Signal enthalten. Sind die Wellenlängen, der im Impuls-Spektrum enthaltenen Frequenzen, in der Größenordnung der Leiterbahnenlänge, so kommt es zu Resonanzeffekten und Impuls-Reflexionen. Überspringen kann bereits bei einer Leitungslänge ab ca. $30 \text{ bis } 40 \text{ mm} \cdot t_r / \text{ns}$ auftreten (Quelle und Herleitung [39]). t_r bezeichnet die Anstiegs- oder Abfallzeit der Schaltflanke. Sind für die verwendeten Level-Shifter ADG330x ein t_r -Wert von 2 ns ¹¹ und für den Multiplexer ein Wert von 3 ns ¹² angenommen, so ergeben sich im Worst-Case-Fall kritische Leitungslängen ab jeweils 60 mm sowie

¹⁰Die High-Level Eingangsspannung des Gumstix muss mindestens 1.17 V betragen (exakte 1.8 V Versorgungsspannung vorausgesetzt). Dieser Wert wurde nicht immer während der gesamten High-Periode überschritten.

¹¹Wert aus dem Datenblatt [4] entnommen

¹²Wert messtechnisch mit dem Oszilloskop ermittelt

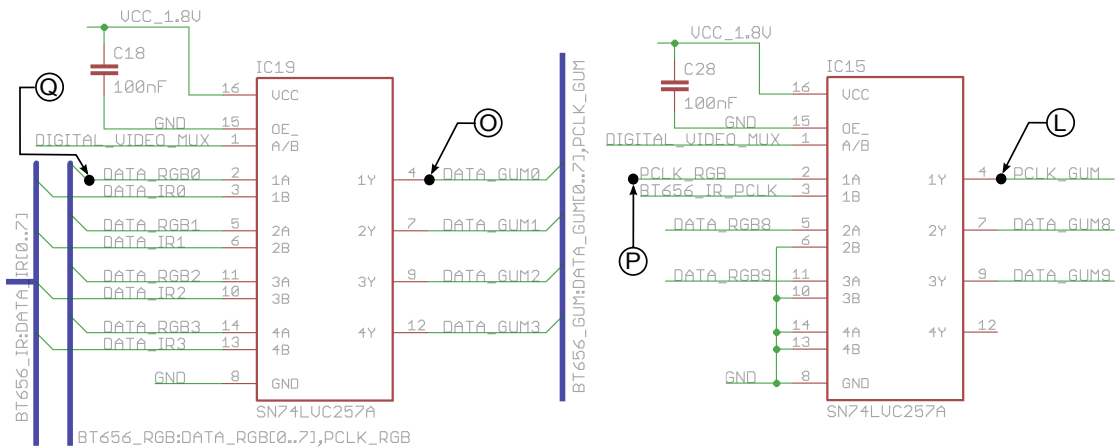
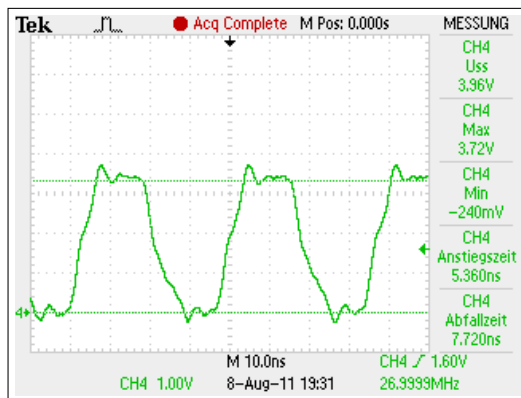


Abbildung 5.10: Die analogen Multiplexer aus Abbildung 4.13 wurden gegen 1.8 V kompatible Digitalmultiplexer getauscht. Auch bei dieser Abbildung ist lediglich das Multiplexen von der Datenleitung $D0$ bis $D3$ sowie der Taktleitung abgebildet. In diesem Schaltplan ebenfalls mit aufgenommen, allerdings noch nicht in der aktuellen Hardwareversion umgesetzt, wurde das Puffern der Datenleitungen $D8$ und $D9$ der RGB-Kamera. Es zeigte sich, dass die Datensignale, die von der Kamera kommen, sehr gestört sind. Hinter dem Multiplexer liegen diese sauber und mit 1.8 V Pegel am Gumnstix an. Neben den Datenleitungen $D0$ bis $D7$ müssen in Folge dessen die Leitungen $D8$ bis $D9$ ebenfalls gepuffert werden, so dass alle 10 Datenleitungen sauber am COM anliegen. Genutzt wurden hierfür zwei „A“-Eingänge des Multiplexer-ICs 15. Die „B“-Eingänge (Thermal-Kamera als Quelle ausgewählt) bleiben dabei unberücksichtigt und sind auf Masse gelegt.

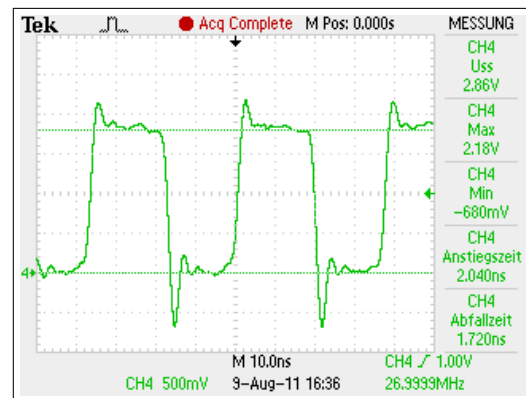
90 mm. Beim vorliegendem Layout bewegen sich die Leiterbahnlängen hinter den Level-Shiftern zum Teil um 32 mm. Der Weg zwischen den Multiplexern und dem Gumnstix ist aufgrund der FFC-Verbindung überwiegend 80-90 mm lang. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Abschnitte, aufgrund ihrer Länge, Störungen verursachen. Die unvermeidlichen Vias tragen mit hoher Wahrscheinlichkeit dazu bei, dass Reflexionen entlang der Signalleitung auftreten.

Die Intensität des vorliegenden Überschwingens ist nicht so stark, dass die Gefahr einer Fehlinterpretation der Signale besteht. Um in einer überarbeiteten Version des EBs dennoch die Problematik zu berücksichtigen, sollte eine Terminierung¹³ der Übertragungsleitung vorgenommen werden. Eine kostengünstige und einfache Serien-Terminierung, in

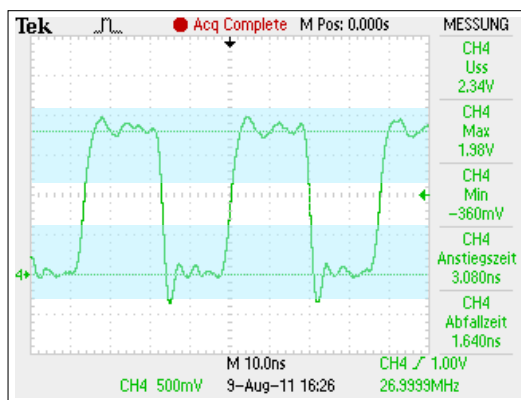
¹³Leitungsanpassung in Form einer Serien-, Pullup/down-, Thevenin-, RC- oder Dioden-Schaltung am Signalleiter



IR-Kamera Ausgang
(Messpunkt J Abb. 4.12)



Level-Shifter Ausgang
(Messpunkt K Abb. 4.12)



Multiplexer Ausgang
(Messpunkt L Abb. 5.10)

Abbildung 5.11: Signalverläufe auf der Pixel-Clock Leitung (Thermal-Kamera). Messpunkt ist der jeweiligen Bildunterschrift zu entnehmen.

Form eines Serienwiderstandes¹⁴ direkt hinter der Quelle, sollte den Signalverlauf positiv beeinflussen und das Überspringen stark bedämpfen.

Neben dem generellen Überspringen fällt in der Abbildung 5.13 und ganz besonders in der Abbildung 5.14 auf, dass die Signale, die von der RGB-Kamera über das FFC auf das EB kommen, sehr stark gestört sind. Auch an dieser Stelle kann die lange Übertragungsstrecke unter anderem Schuld daran sein. Tatsache ist jedoch, dass die Signale hinter dem Multiplexer aufbereitet und nicht mehr so stark gestört zur Verfügung stehen. Dies betrifft allerdings nur den Pixel-Takt sowie die Datenleitungen $D0$ bis $D7$. Die

¹⁴Dimensionierung: Der Serienwiderstand und der Ausgangswiderstand der Signalquelle sollten addiert in etwa gleich groß der Leitungsimpedanz sein.

Datenleitungen *D8* und *D9* sowie die Synchronisationsleitungen sind auf der Leiterplatte momentan noch direkt durchverbunden und werden nicht aufbereitet. Es wird vermutet, dass dies der Grund ist, weshalb beim praktischen Aufnahmetest eines RGB-Bildes leichte Fehler im Bildaufbau auftauchten. Es wird somit empfohlen, die übrigen Signalleitungen in der nächsten Version des EBs ebenfalls aufzubereiten. Ein praktischer Test für die Thermal-Kamera konnte mangels fehlendem Treiber nicht erfolgen. Aufgrund der guten Signalverläufe der am Gumstix anliegenden Signale, sollte die Funktion von Seiten der Hardware gegeben sein.

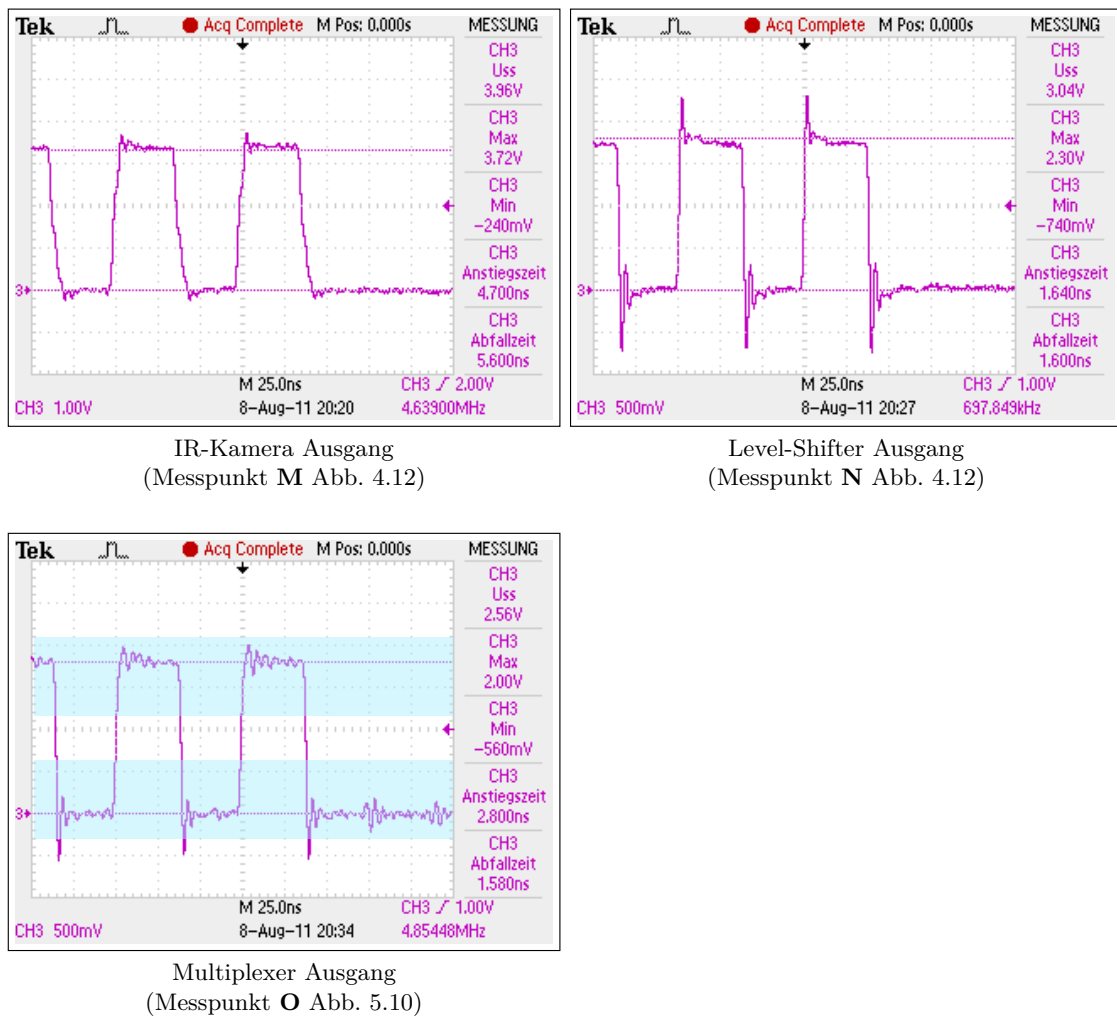


Abbildung 5.12: Signalverläufe auf einer Datenleitung der IR-Kamera (Exemplarisch gezeigt ist lediglich eine Datenleitung von insgesamt acht). Messpunkt ist der jeweiligen Bildunterschrift zu entnehmen.

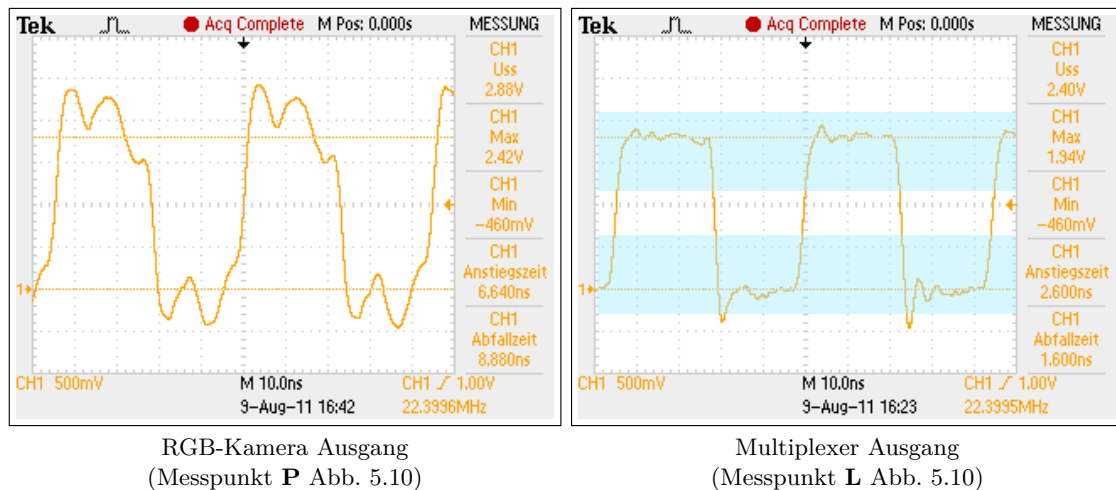


Abbildung 5.13: Signalverläufe auf der Pixel-Clock Leitung (RGB-Kamera). Messpunkt ist der jeweiligen Bildunterschrift zu entnehmen.

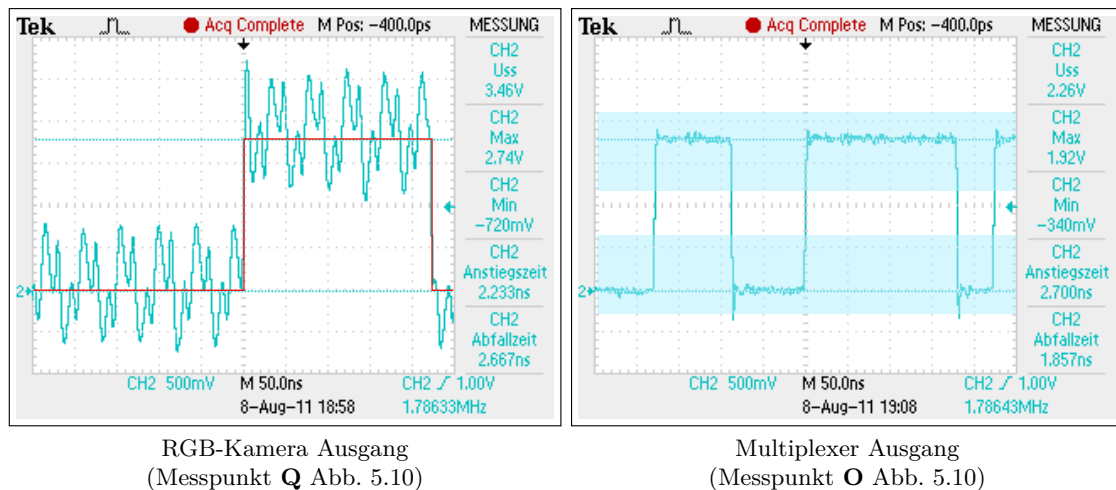


Abbildung 5.14: Signalverläufe auf einer Datenleitung der RGB-Kamera (Exemplarisch gezeigt ist lediglich eine Datenleitung von insgesamt zehn). Messpunkt ist der jeweiligen Bildunterschrift zu entnehmen.

5.2.6 LEDs / Taster

Als Vorbereitung für die Inbetriebnahme und den Test der LEDs und Taster mussten lediglich die verwendeten GPIOs konfiguriert werden. Das Vorgehen des Pin-Multiplexens ist im Anhang D.2 beschrieben. Die Funktionalität der Ein- und Ausgänge konnte anschließend komfortabel mit dem User-GPIO-Driver, der im Anhangskapitel D.3 vorgestellt ist, überprüft werden. Über den Kommandozeilenbefehl `gpio output 85 1(0)`

konnte z. B. die LED 1 an- bzw. ausgeschaltet werden. Gleiches gilt für die LED 2 und 3 unter Verwendung der GPIO-Nummern 86 und 87. Um die drei Taster auf Funktion zu testen, wurden die betroffenen GPIOs mit dem Befehl `gpio input 82(83)(84)` zuvor als Eingänge definiert. Je nachdem, ob der Taster betätigt war oder nicht, war der Rückgabewert des Befehls `gpio get 82(83)(84)` eine „1“ oder eine „0“. Sowohl die Funktion der LEDs wie auch der Taster ist vollständig gegeben.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Aufgabe der vorliegenden Abschlussarbeit war die Entwicklung, Fertigung und Inbetriebnahme eines Expansion-Boards, welches, auf einer UAV-Plattform montiert, die Schnittstelle eines Wildretter Messsystems darstellt. Nach der Analyse des Oktokoptersystems und allen beteiligten Komponenten konnten die Anforderungen an das EB im Zuge der Arbeit klar definiert werden. Die Größe des EBs und der Aufbau des gesamten Messsystems konnten eindeutig aus den Gegebenheiten extrahiert werden. Die Funktionen, die mit der zu entwickelnden Hardware abgedeckt sein müssen, wurden in enger Absprache mit Dipl.-Ing. Martin Israel (<mailto:martin.israel@dlr.de>) definiert. Die gewünschten Anforderungen ließen sich in entsprechende Schaltungen umsetzen, die mit dem Softwarepaket Eagle erstellt wurden. Nachdem alle Module zu einer Gesamtschaltung zusammen gefügt waren, konnte ein Layout erstellt werden. Die Anfertigung und das Bestücken der Leiterplatte wurde von einem externen Dienstleister übernommen und war nicht Bestandteil dieser Arbeit. Das fertige Expansion-Board wurde im Anschluss systematisch in Betrieb genommen und auf ordnungsgemäße Funktion getestet. Die Ergebnisse der Validierung sind im folgenden Abschnitt zusammengefasst.

Die Spannungsversorgung, realisiert mit einem Step-Down-Converter sowie einem linearen Analogregler, funktioniert wie gewünscht. Die anfänglichen Probleme durch zwei falsch dimensionierte Bauteile, die während der Inbetriebnahme auftraten, konnten beseitigt werden. In der Schaltplan- und Layoutversion II wurden diese Änderungen bereits eingepflegt, so dass diese bei einer Neubestellung der Leiterplatte wirksam werden. Abschließend ist zu sagen, dass die Ausgangsspannungen das gesamte Messsystem sehr stabil, sowie rausch- und störungsarm versorgen.

Die Kommunikation über den Konsolenport sowie die USB Schnittstelle funktioniert ebenfalls einwandfrei. Beide Schnittstellen wurden einem praktischen Test unterzogen, der aufzeigte, dass mit vorliegenden Schaltungen der Informationsaustausch mit dem jeweils angeschlossenen Gerät möglich ist.

Bei dem I²C-Bus, der auf dem Expansion-Board für die interne Kommunikation verwendet wird, wurde eine entscheidende Tatsache bei der Auslegung der Schaltung über-

sehen: Der zum Einsatz kommende bidirektionale Level-Shifter kann lediglich CMOS-Lasten treiben und ist aus diesem Grund nicht als Bustreiber geeignet. Im Rahmen der Inbetriebnahme konnte jedoch ein passender Ersatz gefunden werden, so dass alle I²C-Komponenten dennoch validiert werden konnten. Nach dem Tausch kann nun auf das EEPROM sowohl lesend als auch schreibend zugegriffen werden. Die Kommunikation mit der Thermal-Kamera und die UART-Verbindung zum Laserdistanzsensor funktioniert mit dem neuen Baustein ebenfalls einwandfrei. Für den Gumstix existierte bis zur Fertigstellung der Arbeit noch keine implementierte Software, mit der sich der I²C-Bus nutzen ließ. Somit konnte bisweilen nur mit einem externen USB-I²C Interface getestet werden, mit dem von außen auf den Bus des EBs zugegriffen wurde. Die Änderungen am Schaltplan wurden bereits im Eagle Projekt, Version *II*, übernommen, so dass auch an dieser Stelle nach einer Neubestellung der Leiterkarte die Funktion der gesamten I²C-Kette gegeben ist.

Bei der Schaltungsauslegung der Videoschnittstelle kamen die bereits im letzten Absatz angesprochenen Level-Shifter zum Einsatz. Auch an dieser Stelle hat sich herausgestellt, dass die Bausteine nicht mit der nachfolgenden Last zurechtkommen. Durch einen Austausch der nachgeschalteten Signalmultiplexer konnte das Problem behoben werden. Aus elektrotechnischer Sicht funktioniert die Signalführung der Thermal-Kamera störungsfrei. Ein praktischer Test konnte mangels fehlender Software bisher noch nicht durchgeführt werden. Bei der RGB-Kamera stellte sich heraus, dass die Signale, die über das FFC auf das EB kommen, bereits sehr stark gestört sind. Praktische Tests, in Form einer Aufnahme auf dem Gumstix, haben gezeigt, dass sporadische Bildfehler auftreten. Diese werden sehr wahrscheinlich durch Fehlinterpretationen der stark gestörten Signale verursacht. Folglich sollen, neben den bereits aufbereiteten Signalen¹, zusätzlich die Leitungen gepuffert werden, die bisher direkt zum Gumstix durchverbunden sind. Aufgrund des zeitweise kritischen Verhältnisses aus Leitungslänge zu übertragender Frequenz, ist ein Überspringen bei Flankenwechseln auf allen Leitungen zu beobachten. In der Version *II* des Expansion-Boards sollte aus diesem Grund über entsprechende Leitungsterminierungen nachgedacht werden.

Neben den bereits angesprochenen Hauptbestandteilen des Expansion-Boards, sind weitere Komponenten auf dem Board vorhanden. Die für die binäre Anwenderschnittstelle verbauten LEDs und Taster konnten mit dem bereits implementierten User-GPIO-Driver auf fehlerfreie Funktion getestet werden. Die UART-Verbindung zwischen dem Gumstix und dem Falcon 8 ist identisch zum Vorgänger-Messsystem implementiert. Weil die Funktion bei dem alten System gegeben ist, wurde auf einen expliziten Test an dieser

¹Signale die über den Multiplexer laufen

Stelle verzichtet. Wie gewünscht, versorgt die Backup-Batterie das COM in der Zeit, in der die Hauptstromversorgung des Systems abgeschaltet ist.

Abschließend ist zu sagen, dass mit Beendigung dieser Arbeit eine Hardwareversion des EBs vorliegt, die nicht allen gesetzten Anforderungen gerecht wird. Die Fehler, die während des Schaltungsentwurfs entstanden, konnten auf der bestückten Leiterplatte nicht ohne weiteres behoben werden. Dennoch konnte ein Prototypenaufbau angefertigt werden, in dem alle Änderungen und Verbesserungen fast vollständig eingearbeitet wurden und somit validiert werden konnten. Die vorgenommenen Änderungen sind in eine neue Schaltplanversion eingeflossen, so dass eine überarbeitete Version des EBs angefertigt werden kann. Was dabei aber berücksichtigt werden sollte, ist die Tatsache, dass sich die Anforderungen an das Expansion-Board im Verlauf dieser Arbeit geringfügig geändert haben. Die diesjährige Feldmesskampagne zeigte, dass die 8-Bit Auflösung der Thermalbilder bei bestimmten Umweltbedingungen nicht ausreicht. Eine wünschenswerte 14-Bit CMOS-Ausführung kann aus der aktuell vorliegenden 8-Bit Version und den dabei gesammelten Erfahrungen relativ leicht abgeleitet werden. In Anbetracht dieses Änderungswunsches ist es nicht verwerflich, dass eine zweite Version des Expansion-Boards in Angriff genommen werden muss.

Literaturverzeichnis

- [1] aeries PHOTONICS. LLC. Connector Interface Guide, MLR100. 2009. Im Internet unter: <http://www.aeriesphotonics.com/index2.html> [Stand: 11. August 2011].
- [2] aeries PHOTONICS. LLC. MLR100 Users Guide. (Revision 08), 2009. Im Internet unter: <http://www.aeriesphotonics.com/index2.html> [Stand: 11. August 2011].
- [3] aeries PHOTONICS. LLC; Jon Geske. Specification for Micro Laser Rangefinder (Electrical Interface), MLR100. (ICD0001 | Revision: Draft - G), Juni 2008.
- [4] Analog Devices. Low Voltage, 1.15V to 5.5V, 4-Channel, Bidirectional Logic Level Translator - ADG3304. *Datasheet*, (Rev. B), 2005. Im Internet unter: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADG3304.pdf [Stand: 27. August 2011].
- [5] ATMEL. Two-wire Serial EEPROM 1K (128x8) AT24C01B. *Datasheet*, (5156E-SEEPR), October 2008. Im Internet unter: http://www.atmel.org/dyn/resources/prod_documents/doc5156.pdf [Stand: 28. August 2011].
- [6] David Andreas. Suchen, Retten, Markieren: Wenn die Kitze kommen. *Wild und Hund*, (Ausgabe 9):28–33, September 2005.
- [7] Deutscher Bundestag. Tierschutzgesetz. Im Internet unter: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/tierschg/gesamt.pdf> [Stand: 08. Juni 2011].
- [8] e-con Systems. e-Cam32_OMAP_GSTIX. *User Manual*, (Revision 1.0), November 2010. Im Internet unter: http://www.e-consystems.com/ecam32_overodoc.asp [Stand: 11. August 2011].
- [9] e-con Systems. e-Cam32_OMAP_GSTIX - LINUX 2.6.34. *Camera User Document*, (Revision 1.16), January 2011. Im Internet unter: http://www.e-consystems.com/ecam32_overodoc.asp [Stand: 11. August 2011].

- [10] ELV. USB-I²C-Interface. *Dokumentation und Anwendungsbeispiele*, (84123 - v.1.7), August 2011. Im Internet unter: http://www.elv-downloads.de/Assets/Produkte/8/841/84123/Downloads/84123_usb_i2c_handbuch_v1_7.pdf [Stand: 04. September 2011].
- [11] FLIR Commercial Systems. TAU 640 Slow Video Camera. *User's Manual*, (TAU-0640-00-10 v100), Oktober 2010. Im Internet unter: http://www.flir.com/uploadedFiles/CVS_Americas/Cores_and_Components/Products/Uncooled/Tau/TAB_Content/Tau_640/Tau-640-User-Manual-9Hz.pdf [Stand: 11. Juli 2011].
- [12] Freyther Holger Hans Peter, Kooi Koen, Vollmann Detlef, Lenehan Jamie, Juszkie-wicz Marcin, Leggewie Rolf. OpenEmbedded User Manual. *User Manual*, 2009. Im Internet unter: <http://docs.openembedded.org/usermanual/usermanual.html> [Stand: 11. September 2011].
- [13] FTDI Chip. Future Technology Devices International Ltd. FT232R USB UART IC. *Datasheet*, (Version 2.09 - FTDI# 38), 2010. Im Internet unter: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf [Stand: 27. August 2011].
- [14] Gumstix. Gumstix Overo COM: Signals. *Data Manual*, (v1.4), September 2010. Im Internet unter: http://gumstix.org/images/overo_signals_latest.pdf [Stand: 11. Juli 2011].
- [15] Haschberger Peter, Tank Volker. Der Infrarot-Wildretter. *Symposium "Rehwild in der Kulturlandschaft" des Landesjagdverbandes Bayern e.V.*, (Band 7):109–115, März 1999. Nürnberg.
- [16] International Telecommunication Union. Recommendation ITU-R BT.656-5. *Spec-ification*, December 2007. Im Internet unter: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.656-5-200712-I!!PDF-E.pdf [Stand: 5. April 2011].
- [17] Israel Martin. Rehkitzrettung bei der Grünlandmahd: Tierschutz in der Jagd. *Schriftreihe des Landesjagdverbandes Bayern e.V.*, (Band 16):79–80, 2009.
- [18] Larson Chris, Blundell Phil. BitBake User Manual. *User Manual*, 2006. Im Internet unter: <http://bitbake.berlios.de/manual/> [Stand: 11. September 2011].
- [19] Mahlkow-Nerge Katrin. Diese Erkrankungen lauern in der Silage. *Landwirt*, (Ausgabe 15):8–10, August 2010.

- [20] MAXIM. MAX3221 - $1\mu A$ Supply-Current, True +3V to +5.5V RS232 Transceivers with AutoShutdown. *Datasheet*, (Rev. 8), March 2003. Im Internet unter: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX3221-MAX3243.pdf> [Stand: 09. Mai 2011].
- [21] Maxim. 0.8V, Low-Voltage, Single-Supply SPDT Analog Switch in SC70. *Datasheet*, (Rev. 1), June 2004. Im Internet unter: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX4714.pdf> [Stand: 02. Mai 2011].
- [22] Maxim. 0.7V, Low-Voltage, Quad 2:1 Analog Multiplexers. *Datasheet*, (Rev. 4), March 2009. Im Internet unter: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX4780-MAX4784.pdf> [Stand: 02. Mai 2011].
- [23] MICREL. MIC5247 - 150mA Low-Voltage μ Cap Linear Regulator. *Datasheet*, (M9999-022406), February 2006. Im Internet unter: http://www.micrel.com/_PDF/mic5247.pdf [Stand: 22. August 2011].
- [24] NXP. PCA9517 - Level translating I²C-bus repeater. *Datasheet*, (Rev. 03), January 2007. Im Internet unter: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PCA9517.pdf [Stand: 08. September 2011].
- [25] NXP. 74AHC1G126; 74AHCT1G126 Bus buffer/line driver; 3-state. *Datasheet*, (Rev. 07), June 2009. Im Internet unter: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/74AHC_AHCT1G126.pdf [Stand: 27. August 2011].
- [26] NXP. SC16IS740 - Single UART with I²C/SPI interface, 64 bytes of transmit and receive FIFOs, IrDA SIR built-in support. *Datasheet*, (Rev. 7), June 2011. Im Internet unter: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/SC16IS740_750_760.pdf [Stand: 15. Juli 2011].
- [27] OmniVision. OV3640 - 3.1-megapixel. *Product Brief*, (Version 1.2), March 2011. Im Internet unter: http://www.ovt.com/download_document.php?type=sensor&sensorid=7 [Stand: 31. August 2011].
- [28] Panasonic. ML621S Manganese Lithium Coin Batteries. *Specification*, August 2005. Im Internet unter: http://panasonic.com/industrial/includes/pdf/Panasonic_Lithium_ML614S_ML621S.pdf [Stand: 01. September 2011].
- [29] Pape. Botulismus: Ein Viertel der Herde tot. *Top Agrar*, (Ausgabe 11):14–17, November 1996.

- [30] Philips Semiconductors. The I²C-Bus Specification. *Specification*, (Version 2.1), January 2000. Im Internet unter: <http://www.nxp.com/documents/other/39340011.pdf> [Stand: 28. August 2011].
- [31] Pückler Mark. Acht Kitze ausgemäht: Zwei Landwirte verurteilt. *Wild und Hund*, (Ausgabe 9):125–126, Mai 2005.
- [32] SMSC. Industry’s Smallest Hi-Speed USB Transceiver with 1.8V ULPI Interface. *Datasheet*, (Revision 0.4), June 2008. Im Internet unter: <http://www.smsc.com> [Stand: 05. August 2011].
- [33] Texas Instruments. SN74LVC257A - Quadruple 2-Line To 1-Line Data Selectors/Multiplexers. *Datasheet*, (Revised June 2005), January 1993. Im Internet unter: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74lvc257a.pdf> [Stand: 28. August 2011].
- [34] Texas Instruments. SN74LVC2G04. *Datasheet*, (Rev. January 2007), April 1999. Im Internet unter: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74lvc2g04.pdf> [Stand: 09. Mai 2011].
- [35] Texas Instruments. TPS2041, TPS2051 Power-Distribution Switch. *Datasheet*, (SLVS172A), April 1999. Im Internet unter: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps2051.pdf> [Stand: 05. August 2011].
- [36] Texas Instruments. TPS6211x - 17-V, 1.5-A, Synchronous Step-Down Converter. *Datasheet*, (SLVS585A), July 2005. Im Internet unter: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps62110.pdf> [Stand: 22. August 2011].
- [37] Texas Instruments. TPS65950 OMAP Power Management and System Companion Device. *Technical Reference Manual*, (SWCU050G (Version G)), April 2008. Im Internet unter: <http://www.tij.co.jp/jp/lit/ug/swcu050g/swcu050g.pdf> [Stand: 11. Juli 2011].
- [38] Texas Instruments. OMAP35x. *Technical Reference Manual*, (Revised July 2011), April 2010. Im Internet unter: <http://www.ti.com/lit/ug/spruf98t/spruf98t.pdf> [Stand: 30. August 2011].
- [39] Thüringer Rainer. Impulse auf Leitungen - Elektrische Grundlagen. *HighTech-/HighSpeed-Baugruppe (FH Gießen-Friedberg)*.

- [40] Israel Martin, Schlagenhauf Günter, Fackelmeier Andreas und Haschberger Peter. Untersuchungen zur Wilderkennung beim Mähen. 68. Internationale Tagung Landtechnik, Braunschweig, Oktober 2010.
- [41] Weimann. Kitzretter-Projekt nimmt Fahrt auf: BJV forscht mit für die Wildrettung. *Jagd in Bayern*, (Ausgabe 11):22, November 2010.
- [42] Wittich Werner. Urteile aus dem Strafrecht und dem Zivilrecht betreffend Töten von Rehkitzen durch Mähvorgänge bzw. -geräte. http://kreisjagdverein-hersfeld.de/index2.php?option=com_docman&gid=43&task=doc_view&Itemid=29 [Stand: 08. Juni 2011], Juli 2009.

A Nutzlasthalter-Elektronik

Die Schnittstelle zwischen dem Messsystem und der Oktokopter Plattform Falcon 8 bildet die Elektronik am Nutzlasthalter (Breakout-Board). Der detaillierte Schaltplan darf aus Datenschutzgründen in dieser Arbeit nicht veröffentlicht werden. Um die Schnittstelle aber dennoch nachvollziehen zu können, sollen zumindest die Steckerbelegungen der Anschlüsse dargestellt werden. Die Informationen sind dem Schaltplan des Breakout-Boards (Version 2010) entnommen.

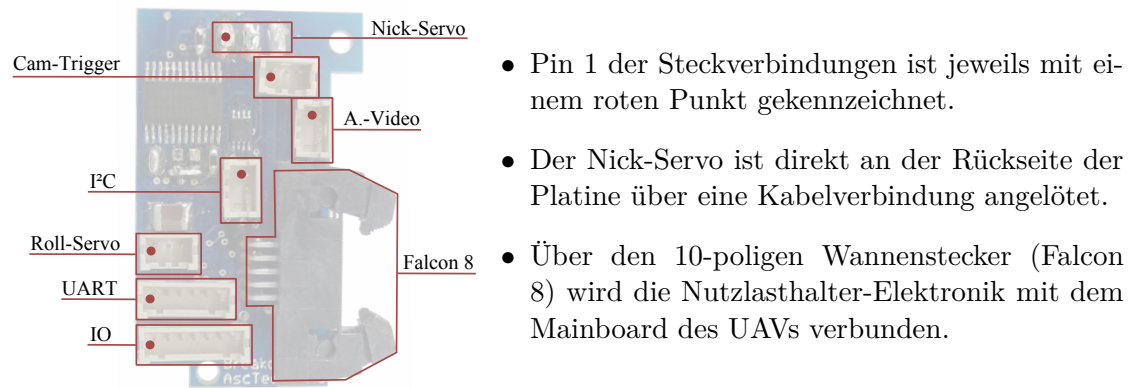


Abbildung A.1: Steckeranordnung der Nutzlasthalter-Elektronik.

STECKER	PIN						
	1	2	3	4	5	6	7
Nick-Servo	GND	9.6 V	Steuer-S.				
Cam-Trigger	GND	5 V	Trigger				
A.-Video	GND	Video 1	Video 2				
I²C	GND	SDA	SCL				
Roll-Servo	GND	6 V	Steuer-S.				
UART	GND	5 V	RTS	CTS	RxD	TxD	
IO	Switch COM	Switch NO	GPIO 1	GPIO 0	GPIO 3	5 V	GND

Tabelle A.1: Steckerbelegungen der Nutzlasthalter-Elektronik.

B Anschlusspläne/Pinbelegungen des Expansion-Boards

Um die Signalzuordnung zu den einzelnen Modulen aus Kapitel 4 einfacher zu gestalten, befindet sich unter jedem Bild eine Liste, wo die entsprechenden Signale dem jeweiligen Hardwarekapitel in dieser Arbeit zugeordnet sind.

B.1 Gumstix Board-to-Board Connector

Die Abbildungen B.1 und B.2 zeigen die zwei 70-pin Board-to-Board Connector, über die der Gumstix auf das Expansion-Board aufgesteckt wird.

J1_3	GPIO70_L_DD00	USYSTEM	J1_67	VCC_3.3V
J1_2	GPIO71_L_DD01	USYSTEM	J1_66	VCC_3.3V
J1_6	GPIO72_L_DD02	GND	J1_56	GND
J1_4	GPIO73_L_DD03	GND	J1_70	GND
J1_7	GPIO74_L_DD04	VBCKUP	J1_52	V_BACKUP
J1_5	GPIO75_L_DD05	N_MANUAL_RESET	J1_1	
J1_33	GPIO76_L_DD06	GPIO31_WAKEUP	J1_9	
J1_29	GPIO77_L_DD07	POWERON	J1_65	
J1_30	GPIO78_L_DD08	SYSEN	J1_59	SYS_EN
J1_28	GPIO79_L_DD09	TU_OUT2	J1_62	
J1_11	GPIO80_L_DD10	TU_OUT1	J1_63	TU_OUT1
GPIO81_NUTZLAST_IO_2	GPIO81_L_DD11	HSORF	J1_69	
GPIO82_TASTER1	GPIO82_L_DD12	HSOLF	J1_68	
GPIO83_TASTER2	GPIO83_L_DD13	AUXRF	J1_41	
GPIO84_TASTER3	GPIO84_L_DD14	AUXLF	J1_38	
GPIO85_LED1	GPIO85_L_DD15	MIC_SUB_MF	J1_39	
GPIO86_LED2	GPIO86_L_DD16	MIC_MAIN_MF	J1_57	
GPIO87_LED3	GPIO87_L_DD17	ADCIN2	J1_58	
J1_25	GPIO88_L_DD18	ADCIN3	J1_48	
J1_27	GPIO89_L_DD19	ADCIN4	J1_40	
J1_45	GPIO90_L_DD20	ADCIN5	J1_51	
J1_23	GPIO91_L_DD21	ADCIN6	J1_53	
J1_15	GPIO92_L_DD22	ADCIN7	J1_64	
J1_61	GPIO93_L_DD23	AGND	J1_50	
J1_43	GPIO69_L_BIAS	GPIO170_HDQ_1WIRE	J1_47	
J1_34	GPIO68_L_FCLK	PWM0	J1_42	
J1_35	GPIO67_L_LCLK	PWM1	J1_49	
J1_32	GPIO66_L_PCLK	GPIO147_GPT8_PWM	J1_16	DIGITAL_VIDEO_MUX
GPIO185_I2C3_SDA	GPIO185_I2C3_SDA	GPIO144_GPT9_PWM	J1_18	IRQ_I2C_UART_LDS
GPIO184_I2C3_SCL	GPIO184_I2C3_SCL	GPIO146_GPT11_PWM	J1_21	TRIGGER
GPIO166_IR_TXD3	GPIO166_IR_TXD3	GPIO145_GPT10_PWM	J1_55	IRQ_I2C_UART_IR
GPIO165_IR_RXD3	GPIO165_IR_RXD3	USBOTG_ID	J1_46	USB_OTG_ID
J1_22	GPIO163_IR_CTS3	USBOTG_VBUS	J1_54	USB_OTG_VBUS
J1_8	GPIO160_TS_IRQ	USBOTG_DP	J1_36	USB_OTG_DP
J1_14	GPIO186_GPS_PPS	USBOTG_DM	J1_37	USB_OTG_DM

Abbildung B.1: Gumstix Board-To-Board Connector J1.

Signalzuordnungen von Connector J1:

- GPIO80_NUTZLAST_IO_1, GPIO81_NUTZLAST_IO_2, TV_OUT1, TRIGGER | **Kapitel 4.1.6.4 Anschlussstecker**
- GPIO82_TASTER1, GPIO83_TASTER2, GPIO84_TASTER3, GPIO85_LED1, GPIO86_LED2, GPIO87_LED3, V_Backup | **Kapitel 4.1.6.1 LEDs / Taster**
- GPIO185_I2C3_SDA, GPIO186_I2C3_SCL, IRQ_I2C_UART_LDS, IRQ_I2C_UART_IR | **Kapitel 4.1.4 I²C Komponenten**
- GPIO166_IR_TXD3, GPIO165_IR_RXD3 | **Kapitel 4.1.2 Konsolenport**
- VCC_3.3V, GND, SYS_EN | **Kapitel 4.1.1 Spannungsversorgung**
- DIGITAL_VIDEO_MUX | **Kapitel 4.1.5 Digitale Videoschnittstelle**
- USB_OTG_ID, USB_OTG_VBUS, USB_OTG_DP, USB_OTG_DM | **Kapitel 4.1.6.3 USB OTG**

J4_9	GPIO65_ETH1_IRQ1	USYSTEM	J4_1	UCC_3.3V
J4_25	GPIO176_ETH0_IRQ	USYSTEM	J4_2	UCC_3.3V
J4_10	GPIO64_ETH0_NRESET	GND	J4_3	GND
J4_4	EM_NCS5_ETH0	GND	J4_33	GND
J4_65	EM_NBE0	EM_NADV_ALE	J4_7	
J4_69	EM_NBE1	EM_CLK	J4_70	
J4_63	EM_NWP	EM_WAIT0	J4_68	
J4_6	EM_NWE	EM_NCS6	J4_67	
J4_8	EM_NOE	EM_NCS4	J4_5	
J4_58	EM_A1	EM_NCS1	J4_64	
J4_11	EM_A2	EM_NCS0	J4_66	
J4_59	EM_A3	GPIO173_SPI1_MISO	J4_45	
J4_61	EM_A4	GPIO172_SPI1_MOSI	J4_44	
J4_13	EM_A5	GPIO171_SPI1_CLK	J4_43	
J4_57	EM_A6	GPIO175_SPI1_CS1	J4_42	
J4_14	EM_A7	GPIO174_SPI1_CS0	J4_27	
J4_12	EM_A8	GPIO114_SPI1_NIRQ	J4_41	
J4_62	EM_A9	GPIO151_RXD1	J4_48	GPIO151_RXD1_NH
J4_60	EM_A10	GPIO148_TXD1	J4_24	GPIO148_TXD1_NH
J4_56	EM_D0	4030GP2_N_MMC3_CD	J4_46	
J4_53	EM_D1	GPIO150_MMC3_WP	J4_47	
J4_15	EM_D2	GPIO13_MMC3_CMD	J4_23	
J4_17	EM_D3	GPIO12_MMC3_CLK	J4_40	
J4_19	EM_D4	GPIO18_MMC3_D0	J4_26	
J4_21	EM_D5	GPIO19_MMC3_D1	J4_36	
J4_51	EM_D6	GPIO20_MMC3_D2	J4_39	
J4_19	EM_D7	GPIO17_MMC3_D3	J4_31	
J4_54	EM_D8	GPIO14_MMC3_DAT4	J4_29	
J4_55	EM_D9	GPIO23_MMC3_DAT5	J4_38	
J4_16	EM_D10	GPIO22_MMC3_DAT6	J4_37	
J4_18	EM_D11	GPIO21_MMC3_DAT7	J4_30	
J4_20	EM_D12	GPIO168_USBH_CPEN	J4_28	GPIO168_USBH_CPEN
J4_52	EM_D13	USBH_VBUS	J4_32	USBH_VBUS
J4_50	EM_D14	USBH_DP	J4_34	USBH_DP
J4_22	EM_D15	USBH_DM	J4_35	USBH_DM

Abbildung B.2: Gumstix Board-To-Board Connector J2.

Signalzuordnungen von Connector J2:

- VCC_3.3V, GND | **Kapitel 4.1.1 Spannungsversorgung**
- GPIO151_RXD1_NH, GPIO148_TXD1_NH | **Kapitel 4.1.4 I²C Komponenten**
- GPIO168_USBH_CPEN, USBH_VBUS, USBH_DP, USBH_DM | **Kapitel 4.1.3 USB HOST**

B.2 50-pin Hirose Connector (Thermal-Kamera)

Die folgende Abbildung zeigt die Belegung des 50-poligen Hirose Steckers, auf dem die Thermal-Kamera auf der Vorderseite des Expansion-Boards aufgesteckt wird.

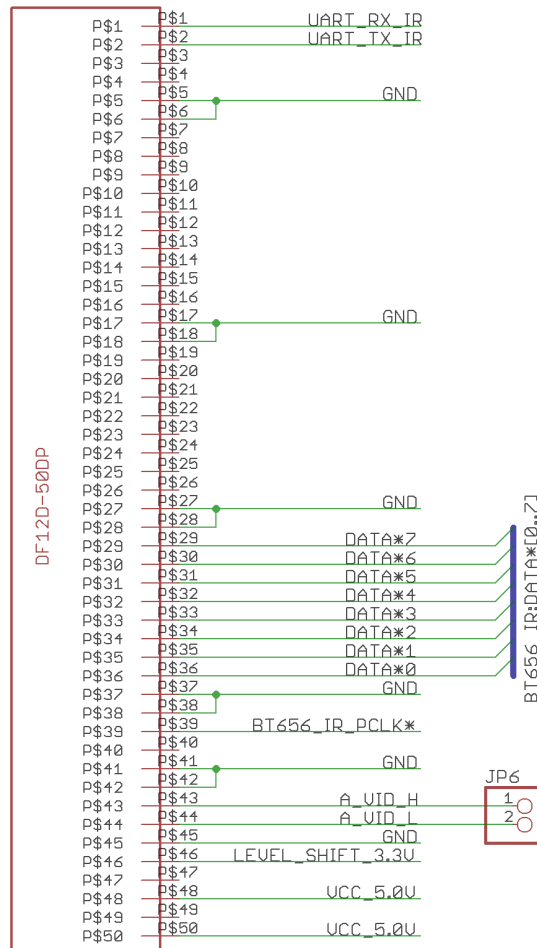


Abbildung B.3: 50-pin Hirose Connector (DF12D-50DP) der TAU 640; JP6 sind zwei Lötunkte, um das Analog-Video Signal direkt von der Leiterkarte abgreifen zu können.

Signalzuordnungen:

- UART_RX_IR, UART_TX_IR | **Kapitel 4.1.4.3 UART Schnittstelle (IR-Kamera)**
- GND, VCC_5.0V | **Kapitel 4.1.1 Spannungsversorgung**
- DATA*0-7, BT656_IR_PCLK*, LEVEL_SHIFT_3.3V | **Kapitel 4.1.5 Digitale Videoschnittstelle**
- A_VID_H, A_VID_L | **Kapitel 4.1.6.4 Anschlussstecker**

B.3 27-pin Flex-Cable Connector (RGB und EB-Gumstix)

Die Abbildung B.4 zeigt die Anbindung der zwei 27-pin Flex-Cable Connector, die sich auf dem EB befinden. Über den linken Anschlussstecker wird das EB mit dem Gumstix verbunden. Wie im Kapitel 2.2.1 *Computer-On-Modul* erwähnt, befindet sich der Anschluss der digitalen Videoschnittstelle auf der Oberseite des Moduls. Über ein Flex-Cable wird der Anschluss 1:1 auf das EB portiert und steht dort zur Verfügung (vgl. Abbildung 3.1 Rückansicht). An den rechten Stecker, aus der unteren Abbildung, wird die RGB-Kamera angeschlossen (vgl. Abbildung 3.1 Frontansicht).

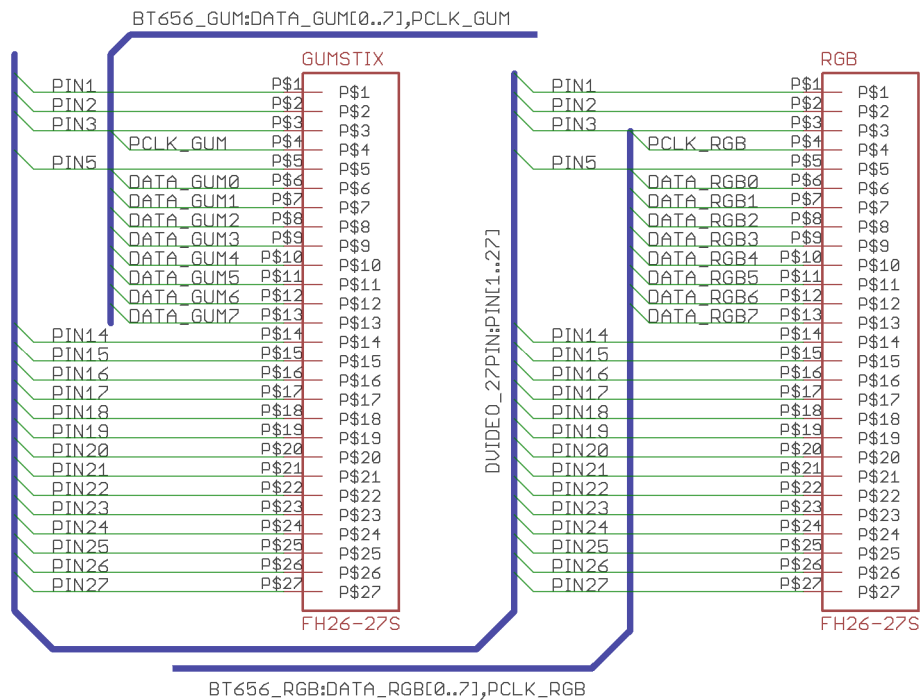


Abbildung B.4: 27-pin Flex-Cable Connector (Hirose FH26-27S-0.3SHW(05));

Signalzuordnungen:

- BT656_GUM, BT656_RGB | **Kapitel 4.1.5 Digitale Videoschnittstelle**
- Busleitung DVIDEO_27PIN verbindet die beiden Stecker auf dem EB untereinander (Pin 1-3, 5 und 14-27)

C GPIO-Pins und deren Funktionalität

Die Tabelle listet alle genutzten GPIO-Pins des COM auf, die beim Expansion-Board verwendet werden. Der Modus gibt die jeweilige Funktionalität des Hardwareanschlusses wieder und muss mit Hilfe des Pin-Multiplexens D.2 vorgenommen werden. Die Konfiguration in der Datei *overo.h* ist in der entsprechenden Tabellenspalte aufgeschlüsselt.

GPIO	Leitungsname im Schaltplan	Modus	Konfiguration in der <i>overo.h</i>
80	GPIO80_NUTZLAST_IO_1	4	(IEN PTD EN M4)
81	GPIO81_NUTZLAST_IO_2	4	(IEN PTD EN M4)
82	GPIO82_TASTER_1	4	(IEN PTD DIS M4)
83	GPIO83_TASTER_2	4	(IEN PTD DIS M4)
84	GPIO84_TASTER_3	4	(IEN PTD DIS M4)
85	GPIO85_LED_1	4	(IDIS PTD DIS M4)
86	GPIO86_LED_2	4	(IDIS PTD DIS M4)
87	GPIO87_LED_3	4	(IDIS PTD DIS M4)
184	GPIO184_I2C3_SCL	0	(IEN PTU EN M0)
185	GPIO185_I2C3_SDA	0	(IEN PTU EN M0)
165	GPIO165_IR_RXD3	0	(IEN PTU EN M0)
166	GPIO166_IR_TXD3	0	(IDIS PTD DIS M0)
144	IRQ_I2C_UART_LDS	4	(IEN PTD DIS M4)
145	IRQ_I2C_UART_IR	4	(IEN PTD DIS M4)
146	TRIGGER	4	(IEN PTD DIS M4)
147	DIGITAL_VIDEO_MUX	4	(IEN PTD DIS M4)
148	GPIO148_TXD1_NH	0	(IDIS PTD DIS M0)
151	GPIO151_RXD1_NH	0	(IEN PTD DIS M0)
168	GPIO168_USBH_CPEN	4	(IEN PTU EN M4)

Tabelle C.1: Genutzte GPIO-Pins und deren Funktionalität [Variablendefinition: IDIS (Input Disable), IEN (Input Enable), PTD(Pull type Down), PTU (Pull type Up), DIS (Pull type selection is inactive), EN (Pull type selection is active) und Mx (**Mode x**)].

D Software

D.1 Einleitende Informationen

Als Software-Entwicklungsumgebung für die Gumstix Overo Serie steht ein System der Community OpenEmbedded (OE) bereit. Mit diesem Software Framework lassen sich vollständig lauffähige Embedded Linuxsysteme erstellen. Dabei werden ausschließlich frei verfügbare Quellcode Bibliotheken genutzt und mit der Hilfe eines Cross-Compilers für das entsprechende Zielsystem kompiliert. Das Herzstück von OE ist BitBake. Ein Tool, mit dem sich die vielen verschiedenen Softwarepakete zu einem kompletten lauffähigen Embedded Linuxsystem zusammenfügen lassen. BitBake arbeitet mit sogenannten Rezepten. In diesen Rezepten sind Informationen über die Quelle (URL-Adresse des Paketes), Abhängigkeiten, sowie Kompilierungs- und Installationsoptionen des Paketes enthalten. Die OpenEmbedded Umgebung nutzt diese Informationen, um die Einzelpakete zu einem Gesamtsystem zusammenzusetzen. Schlussendlich erhält man ein vollständiges Image des Betriebssystems sowie einen Bootloader, der für Hardwarekonfigurationen und das spätere Starten des Betriebssystems zuständig ist. Detailliertere Informationen über OpenEmbedded und Bitbake sind den jeweiligen Benutzerhandbüchern unter [12] und [18] zu entnehmen.

D.2 Multiplexen der OMAP35xx GPIO-Pins

Die Anschlüsse des OMAP35xx Prozessors können teilweise mit bis zu acht unterschiedlichen Funktionen belegt werden. Mit welcher Funktion ein Hardwarepin in Verbindung gebracht wird, muss über ein entsprechendes Register eingestellt werden. Auch für das vorliegende Expansion-Board mussten alle genutzten Hardwarepins des Prozessors so konfiguriert werden, dass die gewünschte Funktionalität bereitsteht. Eine Auflistung aller genutzten GPIO-Anschlüsse und deren Nutzung gibt die Tabelle C.1 im Anhangsabschnitt *GPIO-Pins und deren Funktionalität*. Mit der OE Entwicklungsumgebung für die Gumstix Overo Serie wird es dem Benutzer erleichtert, das Pin-Multiplexen vorzunehmen. In der Header-Datei *overo.h* kann für jeden GPIO-Pin der passende Modus

eingestellt werden. Durch die Neubildung des Bootloaders können die Konfigurationen übernommen werden. Das Vorgehen soll im Folgenden detailliert betrachtet werden. Dabei kam der Bootloader `u-boot-omap3` in der Version *2010.9 revision 1* zum Einsatz:

Wegen einer ständigen Weiterentwicklung der Quelltextdateien durch die OE Community ist es ratsam, ein `clean/rebuild` durchzuführen, bevor Änderungen an der oben angesprochenen Datei vorgenommen werden. Somit werden alle Dateien durch die aktuell neuste Version ersetzt, wenn nicht bereits die Aktuellste auf der Festplatte vorliegt.

```
$ bitbake -c clean virtual/bootloader
$ bitbake virtual/bootloader
```

Wie bereits erwähnt, wird das Pin-Multiplexen in der Datei `overo.h` vorgenommen. Alle Quelltextdateien für den Bootloader sind in dem Verzeichnis `u-boot-omap3` oder Unterverzeichnissen vorzufinden:

```
$ {OVEROTOP}/tmp/work/overo-angstrom-linux-gnueabi/u-boot-omap3-2010.9+r1
+git1e4e5ef0469050f014aee1204dae8a9ab6053e49-r1
```

Dabei ist `OVEROTOP` das Home-Verzeichnis (`overo-oe`) der Entwicklungsumgebung. Zur besseren Darstellung in dieser Arbeit wird nun ebenfalls `UBOOTDIR` als Home-Verzeichnis des Bootloaders eingeführt.

```
UBOOTDIR = ${OVEROTOP}/tmp/work/overo-angstrom-linux-gnueabi/u-boot-omap3
-2010.9+r1+git1e4e5ef0469050f014aee1204dae8a9ab6053e49-r1
```

Wechseln in das Unterverzeichnis `overo`.

```
$ cd ${UBOOTDIR}/git/board/overo
```

Bevor Veränderungen an der Datei vorgenommen werden können, muss eine Kopie von dieser erstellt werden. Der original Quelltext bleibt somit in der Datei `overo.h-orig` erhalten, wenn Modifikationen an `overo.h` vorgenommen werden:

```
$ cp overo.h overo.h-orig
```

Der Aufbau der Datei soll beispielhaft anhand des GPIO-Pins 80 betrachtet werden. In der ursprünglichen `overo.h` ließt sich die Konfigurationszeile des Pins wie folgt:

```
MUX_VAL(CP(DSS_DATA10), (IDIS | PTD | DIS | M0))
```

Die dabei benutzten Macros¹ sowie Konstanten² sind in der Datei *arch/arm/include/asm/arch-omap3/mux.h* definiert. Wie die Codezeile zeigt, ist aktuell für diesen Hardwarepin der Mode 0 (Display Subsystem) konfiguriert. Genutzt werden soll der Hardwarepin allerdings als einfacher Eingang, wie es die Tabelle GPIO-Pins und deren Funktionalität C.1 aufzeigt. Dementsprechend muss die Zeile wie folgt abgeändert werden:

```
MUX_VAL(CP(DSS_DATA10), (IEN | PTD | EN | M4))
```

Nachdem alle Änderungen vorgenommen sind, muss eine entsprechende Patch-Datei erstellt werden. Dabei ist es wichtig, dass diese aus dem Home-Verzeichnis des Bootloaders erstellt wird. In dieser Patch-Datei sind die Unterschiede zwischen den zwei Dateien *overo.h-orig* und *overo.h* kenntlich gemacht.

```
$ cd $(UBOOTDIR)
$ git diff --no-prefix git/board/overo/overo.h-orig git/board/overo/overo
.h > pin-mux.patch
```

Anschließend muss die Datei in das unten angegebene Verzeichnis kopiert werden, wo die OE Umgebung darauf zugreift.

```
$ cp pin-mux.patch $(OVEROTOP)/org.openembedded.dev/recipes/u-boot/u-boot-
-omap3-git/pin-mux.patch
```

Zu allerletzt muss dem Rezept das Patch-File bekannt gemacht werden.

```
$ cp pin-mux.patch $(OVEROTOP)/org.openembedded.dev/recipes/u-boot
$ (edit) u-boot-omap3_git.bb
```

Inhaltlich muss lediglich die Zeile `file://pin-mux.patch \` eingefügt werden:

```
SRC_URI = "git://git.denx.de/u-boot.git;branch=master;protocol=git \
          file://expansion.patch \
          file://pin-mux.patch \
          "
```

Beim erneuten Ausführen vom Bootloader wird die Patch-Datei berücksichtigt und das Pin-Multiplexen vorgenommen.

```
$ cd $(OVEROTOP)
$ bitbake -c clean virtual/bootloader
$ bitbake virtual/bootloader
```

¹MUX_VAL und CP

²IDIS (Input Disable), IEN (Input Enable), PTD (Pull type Down), PTU (Pull type Up), DIS (Pull type selection is inactive), EN (Pull type selection is active) und Mx (**Mode x**)

Die neu erstellte Bootloader-Datei liegt im Anschluss im Verzeichnis `/(OVEROTOP)/tmp/deploy/glibc/images/overo` und heißt: `u-boot-overo.bin`. Nach der Umbenennung in `u-boot.bin` muss diese lediglich noch auf die microSD Karte des Gumstix kopiert werden. Nach dem Neustart werden die Änderungen wirksam.

D.3 User-GPIO-Driver

Der User-GPIO-Driver³ ist ein Treiber, der die `gpiolib` API⁴ des Kernels in den User-Space⁵ portiert. Es stehen mit diesem Treiber Kommandozeilenbefehle zur Verfügung, mit denen sich GPIO-Pins komfortabel konfigurieren lassen:

Befehl	Bedeutung
<code>gpio request <i>gpio label</i></code>	GPIO anfordern (reservieren) und mit einem Label versehen
<code>gpio free <i>gpio</i></code>	GPIO freigeben
<code>gpio input <i>gpio</i></code>	Konfiguriert einen GPIO als Eingang
<code>gpio output <i>gpio value</i></code>	Konfiguriert einen GPIO als Ausgang und setzt den Wert <i>value</i>
<code>gpio get <i>gpio</i></code>	Liest den aktuellen Wert des GPIO-Pins ein
<code>gpio set <i>gpio value</i></code>	Setzt den Wert <i>value</i> des entsprechenden GPIO-Pins

Tabelle D.1: User-GPIO-Driver Befehle und ihre Bedeutung. *gpio* = GPIO-Nummer. *value* = 1 oder 0 (Quelle: *gpio.c*)

Zum Beispiel konfiguriert der Befehl:

```
gpio output 85 1
```

den GPIO-Pin 85 als Ausgang und setzt in auf High-Pegel.

D.4 Konfiguration des I²C-UART Bausteins SC16IS740

Die für die Inbetriebnahme und den Systemtest notwendigen Parametrierungen des Interfaces sollen an dieser Stelle erläutert werden. Die Abbildung D.1 zeigt einen Schreibzugriff auf ein Register. Nach der Slave-Adresse folgt die Register-Adresse und im Anschluss das Datenbyte, welches in das Register geschrieben werden soll.

³http://wiki.gumstix.org/index.php?title=User_GPIO_Driver [Stand: 14. August 2011]

⁴Application Programming Interface

⁵Speicherbereich für Applikationen und Daten die nichts mit dem Kernel zu tun haben.

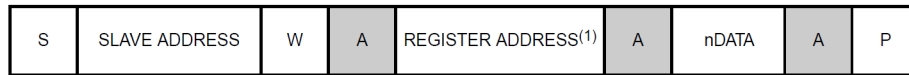


Abbildung D.1: Register Schreibzyklus vom SC16IS740 (Quelle: [26], Abbildung 23)

Das Register Adressbyte setzt sich nach der Tabelle D.2 zusammen.

Bit	Name	Funktion
7	-	nicht genutzt
6:3	A[3:0]	Adresse der internen UART-Register
2:1	CH1, CH2	Kanalauswahl (CH1 = CH2 = 0)
0	-	nicht genutzt

Tabelle D.2: SC16IS740 Register Adressbyte (Quelle: [26], Tabelle 33)

Die für den Systemtest notwendigen Konfigurationen zeigt die nachfolgende Tabelle D.3.

Register A[3:0]	Daten	I ² C-Zeichenkette	Funktion
LCR (0x3)	0x80	S 90(92) 18 80 P	Spezialregister freischalten, um den Baud Rate Vorteiler einstellen zu können
DLL (0x0)	0x06(02)	S 90(92) 00 06(02) P	16-Bit Vorteiler [7:0]
DLH (0x1)	0x00	S 90(92) 08 00 P	16-Bit Vorteiler [15:8]
LCR (0x3)	0x03	S 90(92) 18 03 P	Spezialregister sperren; UART Datenlänge = 8
FCR (0x2)	0x06	S 90(92) 10 06 P	Tx und Rx FIFO Reset
FCR (0x2)	0x01	S 90(92) 10 01 P	Tx und Rx FIFO freigeben

Tabelle D.3: Vorgenommene Einstellungen der SC16IS740 Register, so dass der Baustein anschließend in der Lage ist UART-Nachrichten zu versenden und zu empfangen. Das Register DLL muss für die Thermal-Kamera auf 2 und für die Kommunikation mit dem LDS auf 6 eingestellt werden, um die jeweilige Baud Rate zu erhalten.

E RGB Testbild

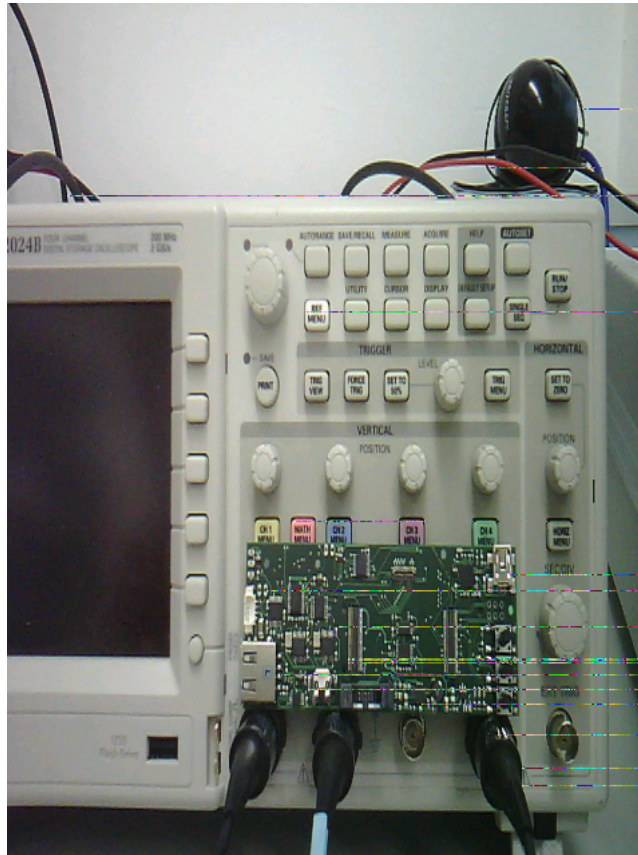


Abbildung E.1: Das RGB Testbild wurde mit Hilfe des Expansion-Borads, welches in dieser Arbeit beschrieben wurde, aufgenommen. Es zeigt, dass sporadische Bildfehler auftreten. Diese liegen darin begründet, dass die Videodatenleitungen $D8$ und $D9$ auf dem EB nicht aufbereitet, sondern direkt zum Gumstix weitergeleitet werden. In Folge dessen sind die Signale aufgrund der langen Übertragungsstrecke sehr stark gestört, so dass gelegentliche Fehlinterpretationen auftreten. Näheres dazu im Kapitel 5.2.5 *Digitale Videoschnittstelle (RGB-/IR Kamera)*.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Alle Stellen, die ich wörtlich oder annähernd wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen habe, sind auch als solche gekennzeichnet. Die Arbeit hat in dieser oder ähnlicher Form noch keiner andern Prüfungskommission vorgelegen.

München, den 23. September 2011

Philipp Neugebauer